

Reference Evapotranspiration Mapping of Libya



Ali Alagab Ikhnefir^{1*}, Hafid M. Y. Bubareek² and Fouad M. H Balomi³

¹Department of Soil and Water, Faculty of Agriculture, Omar Al-Mukhtar University, Libya
²Department of Agriculture Engineering, Faculty of Agriculture, Omar Al-Mukhtar University
Libya. ³Department of Water, Higher Institute of Agricultural Technologies, Derna, Libya

ARTICLE HISTORY

Received:
18 March 2022

Accepted:
14 May 2023

Keywords:

Reference evapotranspiration mapping; NASA agency; spatial interpolation.

Abstract: Estimation of evapotranspiration play an essential role in water resource management. Therefore, understanding the spatial and temporal variation pattern of reference evapotranspiration (ET_0) is crucial for the proper management of water resources and prioritization of their use. This study was conducted to obtain maps showing the reference evapotranspiration values for the area confined between latitudes 19.45° and 33.16° north, and longitudes 9.4° and 25.15° east, which includes the entire area of Libya. Reference Evapotranspiration values were estimated using the Omar Al-Mukhtar University OMU-ET model.1.0.0 based on climate data for the period from 1990 to 2020, represented by (temperature, relative humidity, wind speed, and short-wave solar radiation), which were extracted from the NASA website (The Power Project) for the selected 288 locations. To produce the best digital map of ET_0 values and climate data, The spatial interpolation methods (IDW, Kriging, Spline) in Geographic Information Systems (GIS) software were compared using spatial statistical interpolation techniques (Mean Error ME and Square Root Mean Error RMSE), and the Spline method was adopted as the best method for interpolation mapping as it gave the smallest RMSE value and the lowest ME value if compared to the results of IDW and Kriging. The ET_0 results obtained from OMU-ET model.1.0.0 were used to prepare a computer model in Arabic and English using Microsoft Excel and the Visual Basic for Applications programming language, which was named ET_0 Libya. ET_0 Libya Provides ET_0 values monthly and annually for any point located within the area of Libya which requires only the location coordinates.

تخطيط البخر نتج المرجعي في ليبيا

الكلمات المفتاحية:

تخطيط البخر نتج المرجعي؛ وكالة ناسا؛ الاستيفاء المكاني.

المستخلص: يلعب تقدير البخر نتج دوراً رئيسياً في إدارة الموارد المائية. لذا، فإن فهم نمط الاختلاف المكاني، والزمني للبخر نتج المرجعي (ET_0) أمر ضروري للإدارة الصحيحة للموارد المائية، وتحديد أولويات استعمالها. أجريت هذه الدراسة للحصول على خرائط تبين قيم البخر نتج المرجعي للمساحة المحصورة بين دائرتي عرض 19.45° ، و 33.16° شمالاً، وخطي طول 9.4° ، و 25.15° شرقاً، والتي تشمل كامل مساحة ليبيا. اختيرت إحداثيات 288 موقعاً ممثلةً بخطوط الطول وخطوط العرض لكل نقطة من هذه النقاط. قدر ET_0 باستخدام نموذج جامعة عمر المختار OMU-ET model.1.0.0 اعتماداً على البيانات المناخية للفترة من 1990 إلى 2020م، متمثلة في (درجات الحرارة، والرطوبة النسبية، وسرعة الرياح، والإشعاع الشمسي قصير الموجة)، والتي استخرجت من موقع وكالة ناسا (The Power Project). لإنتاج أفضل خارطة رقمية لقيم ET_0 ، والبيانات المناخية، تمت مقارنة طرق الاستيفاء المكاني (IDW, Kriging, Spline) في برمجيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) باستخدام تقنيات الاستكمال الإحصائي المكاني (متوسط الخطأ ME، وجذر متوسط الخطأ التربيعي RMSE)، وتم اعتماد طريقة Spline أفضل طريقة لرسم خرائط استيفاء؛ كونها أعطت أصغر قيمة RMSE، وأقل قيمة ME إذا ما قورنت بنتائج IDW، و Kriging. استخدمت نتائج ET_0 المتحصل عليها من OMU-ET model.1.0.0 في إعداد نموذج حاسوبي باللغتين العربية، والإنجليزية باستخدام برنامج مايكروسوفت إكسل، ولغة البرمجة فيجوال بيسك للتطبيقات (Visual Basic for Application)، والذي سمي بالبخر نتج المرجعي ليبيا (ET_0 Libya). يوفر ET_0 Libya قيم ET_0 الشهرية، والسنوية لأي نقطة تقع داخل مساحة ليبيا، والذي لا يتطلب سوى إحداثيات الموقع.

* علي العقاب اخنفر: alikhnefir@gmail.com، قسم التربة والمياه، كلية الزراعة، جامعة عمر المختار، البيضاء، ليبيا.

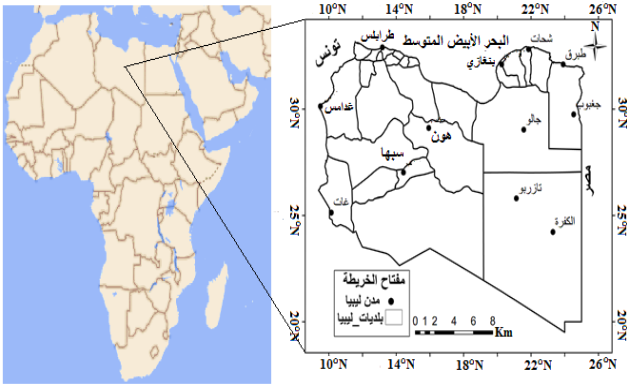
المقدمة

والزراعية، والبيئية (Huntington, 2006)، وإدارة الري، واتخاذ القرارات، وكذلك لتحليل المناخ (Blackie & Simpson, 1993; Kamali et al., 2015)، لا سيما لتقييم السيناريوهات، والظواهر الإقليمية المتعلقة بتغير المناخ مثل الجفاف، والفيضانات (Güler, 2014).

إن رسم خرائط للبحر - نتح المرجعي على أساس مكاني، وزماني يمكن أن يساعد المختصين الزراعيين، والمؤسسات الزراعية، وصناع القرارات على تحديد أولويات استصلاح الأراضي الزراعية، وتسهيل عمليات التخطيط (El-Shirbeny & Abdellatif, 2017). أثبت العديد من الباحثين إمكانية التقنيات العالمية في رسم خرائط هطول الأمطار، ودرجات الحرارة (Gómez et al., 2008)، والبحر - نتح الحرارة (Vicente - Serrano et al., 2007). لذلك؛ هناك حاجة إلى معرفة أفضل بالتوزيع المكاني لهطول الأمطار، ودرجة الحرارة، والبحر نتح، لا سيما في المناطق ذات الاختلافات الكبيرة في التضاريس والارتفاع (Vicente - Serrano et al., 2007).

تشمل منطقة الدراسة كل مساحة ليبييا، وهي من المناطق الجافة، وشبه الجافة، حيث يكون توافر المياه قليل، وإدارة الموارد المائية مهمة ذات أولوية. بما أن المناطق الجنوبية معزولة عن الكتل الهوائية الرطبة، فإن التفاوت في كمية هطول الأمطار السنوي كبير؛ إذ يتراوح بين أقل من 10 مم في الجنوب، إلى أكثر من 600 مم في المناطق الجبلية الشمالية، حيث إنه يؤثر على مستويات تخزين المياه، ونمو الغطاء النباتي، وإنتاج المحاصيل. مع ذلك لم يركز على توفير اللبنة الأساسية للتخطيط لاستغلال الموارد المائية، والتي من أهمها الاحتياجات المائية، والقدرات التخيرية (البحر - نتح المرجعي ET_0) في كل مناطق ليبييا. لهذا السبب، يهدف هذا البحث إلى توفير قيم ET_0 بأحدث طرق الحساب، محسوبة وفق طريقة بنمان مونثيث (Allen et al., 1998) التي أجمع علماء المياه في منظمة الزراعة، والأغذية FAO

بعد تقدير البحر نتح المرجعي Reference evapotranspiration (ET_0) عاملاً أساسياً لتقدير كمية المياه اللازمة للإنتاج الزراعي الأمثل، و تستخدم تقديرات البحر نتح المرجعي في عملية التخطيط لمشاريع الري المستقبلية، وكذلك لإدارة توزيع المياه في المشاريع القائمة. وغالباً ما تستخدم ET_0 في تحديد المناطق المعرضة للجفاف، وهو مجال مهم للأبحاث المتعلقة بتغيرات المناخ (Croitoru et al., 2013)، كما تستخدم تقديرات ET_0 على نطاق واسع في هندسة الري لتقدير الاحتياجات المائية للمحاصيل الزراعية، ودعم جدولة الري، وإدارة الجفاف. يعتمد تقدير البحر نتح المرجعي أساساً على البيانات المناخية وظروف المنطقة كالارتفاع، والموقع الجغرافي، والقرب أو البعد عن البحر (Raziei & Pereira, 2013). يعرف البحر نتح المرجعي بأنه "معدل إزالة المياه من التربة، والسطح النباتي لمحصول مرجعي، والذي عادة ما يكون العشب، أو البرسيم تحت ظروف وفرة المياه (لا يعاني من نقص المياه)، وينبغي أن يتراوح ارتفاعه على الأقل من 8 - 15 سم. يعبر البحر - نتح المرجعي عن قوة التبخر للغلاف الجوي في موقع معين، و وقت من السنة، ولا يأخذ بعين الاعتبار خصائص المحاصيل، وعوامل التربة، ونتيجة لذلك، البحر - نتح المرجعي يمكن حسابه من بيانات الطقس (Doorenbos & Pruitt, 1977). تؤدي التغيرات المناخية من مكان إلى آخر، ومن سنة إلى أخرى، والتغيرات البيئية الأخرى إلى تغيرات في ET_0 . تعد معرفة التباين المكاني، والزمني للبحر نتح المرجعي أمر ضروري لإدارة الموارد المائية للإقليم بشكل أفضل (Raupach et al., 2009)، وتقييم ظاهرة الجفاف، والآثار البيئية المرتبطة بها (McVicar & Jupp, 1998)، وكذلك لفهم التفاعلات بين أسطح النباتات المختلفة، والغلاف الجوي لما له من تأثير مباشر على إنتاج المحاصيل (Keane et al., 2002). إن فهم التقلبات المكانية للبحر نتح المرجعي ضروري للعديد من النماذج الهيدرولوجية،



شكل (1): دولة ليبيا

المواد وطرق البحث

للحصول على نتائج للبخر نتح المرجعي تغطي جميع مساحة ليبيا للوصول إلى الهدف من الدراسة، قسمت المساحة الواقعة بين دائرتي عرض 19.45° ، و 33.16° شمالاً، وخطي طول 9.4° ، و 25.15° شرقاً إلى حوالي 288 موقعا بحيث يمثل كل موقع بنقطة تقاطع خط طول مع خط عرض ابتداء من أول نقطة قريبة من ساحل البحر الأبيض المتوسط، وذلك لتوضيح تأثير البحر على نتائج البخر نتح المرجعي مع الابتعاد عن الساحل كما موضح بالشكل (2). جدول (1) يوضح خطوط الطول، والعرض للمواقع التي اختيرت على خريطة ليبيا بالشكل (2).

نظراً لعدم وجود محطات أرصاد جوية تغطي جميع المواقع التي اختيرت للدراسة، فقد تحصلنا على البيانات المناخية اللازمة لحساب البخر نتح المرجعي من مشروع الطاقة التابع لمركز أبحاث لانغلي التابع لناسا (NASA Langley Research Center) الممول من خلال برنامج علوم الأرض/العلوم التطبيقية التابع لناسا <https://power.larc.nasa.gov/>. لحوالي 288 نقطة موزعة على كامل الأراضي الليبية كما هي موضحة على الخريطة بالشكل (2)، والجدول (1). إن صحة هذه البيانات أثبتتها وتحققت منها العديد من الدراسات كما في دراسة (Abouelkhair et al., 2019) الذين قاموا بتقييم بيانات

لجمعية المهندسين المدنيين الأمريكية ASCE على دقتها، وصلاحياتها لكل المناخات (Allen et al., 1998; Jensen et al., 1990). حيث أمكن الاستفادة من تقنيات نظم المعلومات الجغرافية لرسم خرائط شهرية، وسنوية لهطول الأمطار، ودرجات الحرارة، والبخر - نتح المرجعي مستفيدين من توظيف أحدث التقنيات، والبرمجيات الحديثة، وما توفرت من بيانات مناخية في مواقع الإدارة الوطنية للملاحة الجوية، والفضاء NASA.

توفر وكالة ناسا مشروع التنبؤ بمصادر الطاقة العالمية The Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER) الممول من خلال برنامج العلوم التطبيقية التابع لوكالة ناسا ضمن قسم علوم الأرض التابع لمديرية المهام العلمية (التي حلت محل كل من مكتب علوم الأرض ومكتب علوم الفضاء) والذي يخدم وكالة ناسا، والمجتمع من خلال توسيع تحقيق الفوائد الاجتماعية، والاقتصادية من علوم الأرض، والمعلومات، وتكنولوجيا البحث والتطوير، وتسريعها. بدأ مشروع التنبؤ بموارد الطاقة العالمية (POWER) لتحسين مجموعة بيانات الطاقة المتجددة الحالية، وإنشاء مجموعات بيانات جديدة من أنظمة الأقمار الصناعية الجديدة. يستهدف مشروع POWER ثلاثة مجتمعات مستخدمين: (1) الطاقة المتجددة، (2) المباني المستدامة، و (3) علم المناخ الزراعي.

منطقة الدراسة: تقع ليبيا في شمال إفريقيا على ساحل البحر الأبيض المتوسط، وتشمل مساحة جغرافية تقدر بحوالي 1759,54 كم²، تقع بين خطي 20 درجة إلى 34 درجة شمالاً، و 10 درجات إلى 25 درجة شرقاً. حوالي 90.8 % من المساحة تصنف بأنها شديدة الجفاف؛ 7.4 % جافة، 1.5 % شبه جافة، وحوالي 0.3 % تصنف على أنها شبه رطبة (Ben-Mahmoud, 1993)؛ مع المنطقة شبه الرطبة الواقعة في شمال شرق ليبيا بالقرب من مدينتي شحات والبيضاء. الطبوغرافيا عمومًا خالية من التضاريس شديدة الانحدار، باستثناء الشمال الغربي، والشمال الشرقي (AI-Haram, 1995).

تتمتع بيانات NASA POWER بميزة التغطية المكانية (لكل موقع مفرد ممثل بخطي الطول والعرض أو منطقة ممثلة بمساحة معينة)، والزمانية (للفترة الزمنية التي تبدأ من عام 1981، وحتى الوقت الحالي على أساس شهري، أو يومي، أو سنوي) على نطاق عالمي (Ruane et al., 2015)، وتوفر البيانات المناخية اللازمة لتقدير البخر النتح المرجعي المستخرجة من موقع وكالة ناسا [/https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer](https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer)، و المستخدمة في الدراسة على مقياس شهري خلال الفترة (1990-2020) هي: متوسط درجات الحرارة (الدنيا، و القصى) (م°)، ومتوسط الرطوبة النسبية (%)، ومتوسط سرعة الرياح على ارتفاع 2 متر (متر/الثانية)، والإشعاع الشمسي قصير الموجة Rs (ميجا جول/م².يوم).

تقدير البخر - نتح المرجعي Reference
evapotranspiration (ET_o): يقدر ET_o باستخدام معادلة بنمان - مونتيت التي أوصت بها منظمة الأغذية، والزراعة في ورقة الري، والصرف رقم FAO56 وكذلك الموصى بها لحساب البخر نتح المرجعي في دليل وتقارير الجمعية الأمريكية للمهندسين المدنيين حول الممارسة الهندسية رقم 70 "البخر نتح، و الاحتياجات المائية للري" التي كتبها (Jensen et al., 1990) من خلال جهود اللجنة حول عملية البخر نتح في الري، و الهيدرولوجيا لمجلس الري، والصرف التابع لمعهد مصادر الماء البيئية (EWRI) للجمعية الأمريكية للمهندسين المدنيين (ASCE) كأفضل طريقة للحساب، وتتطلب هذه المعادلة بيانات مناخية متمثلة في درجات الحرارة الصغرى والعظمى، الرطوبة النسبية، سرعة الرياح على ارتفاع 2 متر، الإشعاع الشمسي. وتكتب المعادلة على النحو التالي:

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u_2)} \quad (1)$$

ET_o: البخر - نتح المرجعي (مم/يوم)، Δ: ميل منحنى

NASA POWER لمتوسط درجات الحرارة (م°) الشهرية (الدنيا، والقصى، و المتوسطة)، ونقطة الندى (م°)، والرطوبة النسبية (%) مقارنة بالبيانات المرصودة في 20 محطة أرصاد جوية مصرية. أظهرت النتائج أن هناك علاقة ارتباط معنوية وجودة التوافق بين بيانات NASA POWER، والبيانات المرصودة. وكذلك دراسة (Tayyeh & Mohammed, 2023)، حيث قارنوا البيانات المرصودة في (9 محطات أرصاد جوية متفرقة عبر حوض نهر الفرات بالعراق، ببيانات NASA POWER للهطول اليومي، والشهري، والسنوي (مم)، ودرجات حرارة الهواء (م°) (القصى، والدنيا). أظهرت النتائج موثوقية جيدة لكل من منتجات NASA POWER، والبيانات المرصودة لجميع المعلومات، كما بينوا أن نتائج NASA POWER يمكن أن تكون فعالة في إنشاء مجموعات بيانات الطقس في غياب أو عدم إمكانية الوصول إلى بيانات محطة الطقس الأرضية. أيضاً دراسة (Monteiro et al., 2018) التي تهدف إلى اختبار مدى قوة قاعدة بيانات NASA / POWER من خلال مقارنتها مع سجلات شبكة محطات الطقس الأرضية البرازيلية (INMET) للفترة من 1997 إلى 2016 ولتحديد التأثيرات على محاكاة إنتاج قصب السكر، بينت نتائج دراستهم أن المؤشرات الإحصائية أعطت أداءً مرضياً لمتوسط درجة حرارة الهواء، ودرجة حرارة الهواء الدنيا والقصى، والإشعاع الشمسي، وساعات سطوع الشمس، والبخر نتح المرجعي. كما أثبتت نتائج دراستهم أنه يمكن استخدام بيانات NASA / POWER مصدراً للبيانات المناخية للأنشطة الزراعية بتقنة معقولة للمقاييس المكانية الإقليمية والوطنية. العديد من الدراسات أثبتت أنه بالإمكان الاعتماد على بيانات NASA POWER في حال نقص أدوات القياس، أو عدم وجود محطات إرساد أرضية تغطي كامل المساحة المدروسة مثل دراسة (Jed et al., 2022; Negm et al., 2018; Rodrigues & Braga, 2021a, 2021b; Valeriano et al., 2019; White et al., 2008; White et al., 2011).

النقاط، قد يتطلب وقتاً أطول عند استخدام نماذج حسابية أخرى، مقارنة بنموذج جامعة عمر المختار، الذي أتاح القدرة على كتابة كود برمجي لحساب البخر نتح المرجعي لعدد كبير من النقاط، وتنظيمها بالشكل المناسب.

خرائط قيم البخر نتح المرجعي والبيانات المناخية: توفر برمجيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) طرق استيفاء إحصائية مكانية *Techniques Spatial Interpolation* لمعالجة، وتحليل، ورسم الخرائط السطحية. الاستيفاء المكاني هو أداة في نظم المعلومات الجغرافية تخمن القِيم في المواقع التي لا تتوفر لها قيم مقاسة. يمكن تعريفه كإجراء لتقدير قيم الخصائص في المواقع غير المقاسة بناءً على مجموعة القيم المرصودة في المواقع المقاسة (Babu, 2016). بغض النظر عن تقنية الاستيفاء المستخدمة، فإن القيم المشتقة ليست سوى تقديرات لما يجب أن تكون عليه القيم الحقيقية في موقع معين. لذلك يمكن أن تولد طرق الاستيفاء المختلفة نتائج مختلفة في نفس المواقع. لكن دقة القيم المقدرة تختلف من كل طريقة بناءً على تضاريس المنطقة وتركيز وتوزيع محطات القياس. لذلك في هذه الدراسة تم تحليل بعض طرق الاستيفاء المستخدمة في نظم المعلومات الجغرافية والتحقق من دقتها بناءً على النتائج التي تم الحصول عليها؛ لاختيار أدق طريقة لعمل استيفاء *Interpolation* بين قيم البخر نتح المرجعي الشهرية، والسنوية، وقيم البيانات المناخية الشهرية، وإنشاء مجموعة البيانات المستمرة التي يمكن أن تكون ممثلة على خريطة منطقة الدراسة بأكملها. وهذه الطرق مقلوب المسافة الموزونة (*Inverse Distance Weighting (IDW)*)، وطريقة *Spline*، وطريقة كريكينج *kriging*، والتي تنقسم إلى *Sample*، و *Ordinary*.

المقاييس الإحصائية لمقارنة طرائق الاستكمال المكاني

1- متوسط الخطأ *Mean error*: يجب أن يكون قريب من الصفر.

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - o_i) \quad (2)$$

ضغط البخار المشبع عند درجة الحرارة المعينة (كيلو باسكال /³م³)، γ : ثابت جهاز قياس الرطوبة النسبية (Psychrometer) (كيلو باسكال /³م³)، R_n : صافي طاقة الإشعاع الشمسي عند سطح المحصول (ميجا جول/م².يوم)، G : كثافة تدفق الحرارة في التربة (ميجا جول/م².يوم)، u_2 : متوسط سرعة الرياح لليوم بأكمله، عند ارتفاع 2 م فوق سطح الأرض (م/ث)، e_s : ضغط البخار المشبع (كيلو باسكال)، e_a : ضغط البخار الفعلي (كيلو باسكال)، و $(e_a - e_s)$: نقص ضغط البخار المشبع (كيلو باسكال).

نموذج جامعة عمر المختار **OMU-ET model.1.0.0**:

استخدم النموذج *OMU-ET model.1.0.0* لإجراء الحسابات المتعلقة بالبخر نتح المرجعي، وهو برنامج حاسوبي أعد بلغة البرمجة فيجوال بيسك (*Visual Basic 6*)، وباستخدام برمجة قواعد البيانات، وكذلك بجداول البيانات إكسل وهذا البرنامج الحاسوبي يحتوي على عدد من النماذج الحسابية التي تستخدم في حساب البخر - نتح المرجعي اعتماداً على معادلة بنمان - مونتيت، حساب معامل المحصول المفرد طبقاً للمنهجية الواردة في ورقة الري والصرف *FAO56*، حساب الأمطار الفعالة باستخدام طريقة منظمة الأغذية، والزراعة، حساب احتياجات الغسيل، حساب الاحتياجات المائية للري (اخنيفر، وآخرون، 2018).

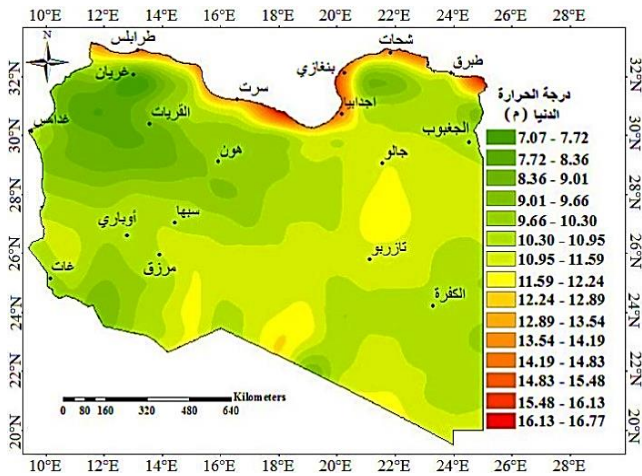
استخدم برنامج *OMU-ET model.1.0.0* لاحتوائه على خيارات متعلقة بتوفير البيانات، فيمكن استخدام البيانات المتاحة من الرطوبة سواء الرطوبة المتوسطة، أو متوسط الرطوبة النسبية الدنيا، ومتوسط الرطوبة النسبية العظمى، كذلك استخدام عدد ساعات السطوع الشمسي، أو استخدام الإشعاع الشمسي قصير الموجة، والأهم من ذلك أن هذا البرنامج يحتوي على نموذج لحساب معاملات المحاصيل، ولا يعتمد القيم التقريبية لمعاملات المحاصيل، وهذا ما يميزه عن باقي البرامج المستخدمة في حساب الاحتياجات المائية للمحاصيل. كما أن حساب البخر نتح المرجعي لعدد كبير من

أدق من طريقة IDW، و Kriging كونها أعطت أصغر قيمة للجذر التربيعي لمتوسط الخطأ (K(RMSE) وأقل قيمة خطأ (ME)؛ لذلك اعتمدت طريقة Spline لرسم خرائط ETo والبيانات المناخية.

جدول (2): مقارنة طرق الاستيفاء المكاني.

	IDW	Kriging		Spline
		Sample	Ordinary	
Tmin				
ME	0.0900	0.0496	0.0195	0.0139
RMSE	0.9664	0.6550	0.8399	0.6305
Tmax				
ME	-0.112	-0.110	-0.026	-0.023
RMSE	0.9740	0.8998	0.7509	0.7043
RH				
ME	0.3061	0.5147	0.0723	0.0300
RMSE	1.5468	1.2627	1.0702	0.9418
Wind				
ME	0.0156	0.0168	0.0016	0.0039
RMSE	0.2322	0.2016	0.2258	0.1707
Rs				
ME	-0.011	-0.018	-0.0025	-0.001
RMSE	0.2037	0.1950	0.1867	0.1785
ETo				
ME	-12.93	-11.53	-3.32	-1.206
RMSE	126.50	94.86	90.58	79.21

خرائط تساوي قيم البيانات المناخية: الأشكال من 3 إلى 7 تظهر خرائط تساوي قيم المتوسطات السنوي للبيانات المناخية على كامل مساحة ليبيا.



شكل (3): خريطة تساوي قيم المتوسط السنوي لدرجة الحرارة الدنيا (°م).

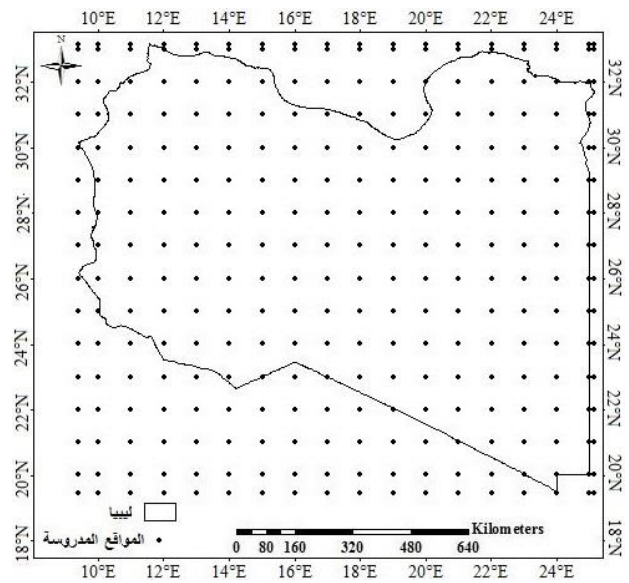
2- وجذر متوسط الخطأ التربيعي -Root-Mean-Square error: تزداد الدقة مع اقتراب قيمته إلى الصفر.

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

حيث i : القيمة المتوقعة. o_i : القيمة الحقيقية. n : عدد القيم.

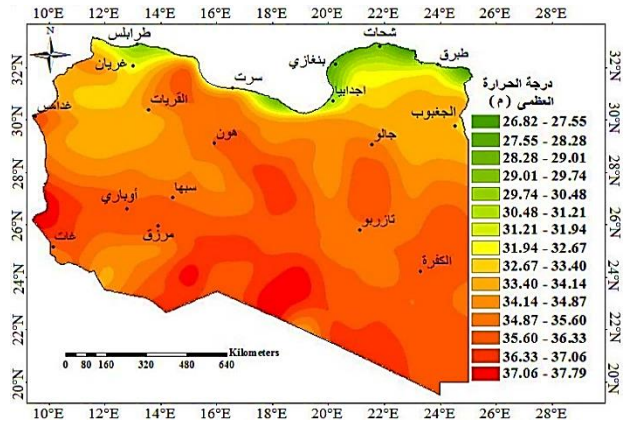
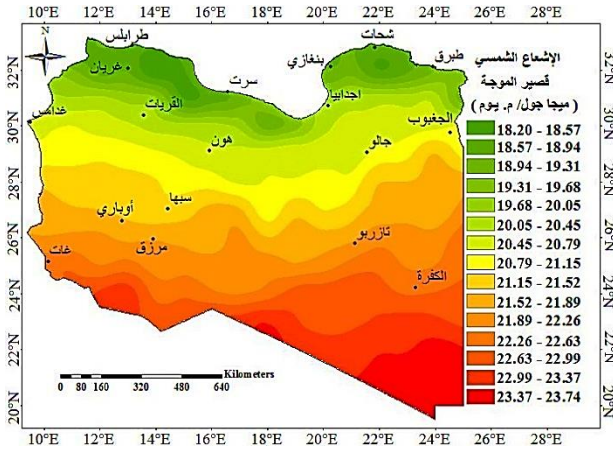
النتائج والمناقشة

نتائج تقسيم منطقة الدراسة



شكل (2): توزيع المواقع التي اختيرت للحصول منها على البيانات المناخية في ليبيا.

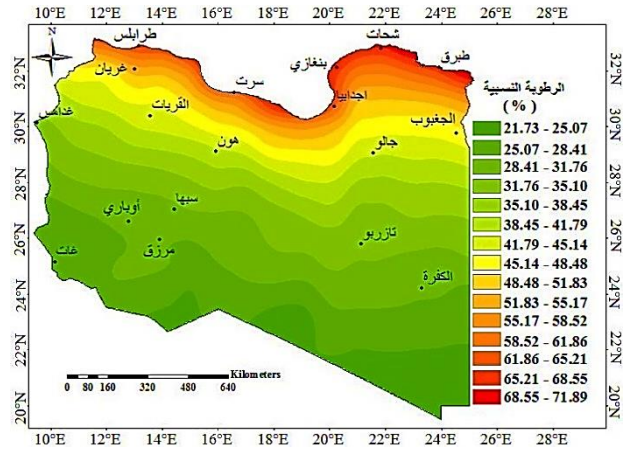
مقارنة طرق الاستيفاء المكاني: قورنت طرق الاستيفاء المكاني في برمجيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) باستخدام المقاييس الإحصائية لاختيار أدق طريقة لعمل استيفاء Interpolation بين المتوسطات السنوية لقيم البحر نتح المرجعي (ETo)، والمتوسطات الشهرية لدرجة الحرارة الدنيا (Tmin)، والقصوى K(Tmax) والرطوبة النسبية (RH)، وسرعة الرياح (Wind)، والإشعاع الشمسي قصير الموجة (Rs). تبين من خلال جدول (2) أن طريقة Spline



شكل (4): خريطة تساوي قيم المتوسط السنوي لدرجة الحرارة القصوى (°C).

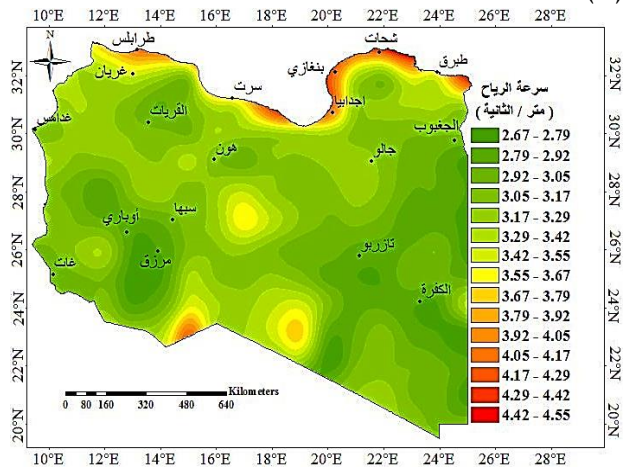
شكل (7): خريطة تساوي قيم المتوسطات للإشعاع الشمسي قصير الموجة (ميجا جول/م². اليوم).

خرائط تساوي قيم البحر نتج المرجعي الشهرية (ET_0 ملم/الشهر): خرائط تساوي قيم ET_0 الشهرية الموضحة في الأشكال من 8 إلى 19 باستعمال تقنيات نظم المعلومات الجغرافية من النتائج التي أظهرها نموذج جامعة عمر المناخية المشتقة من موقع وكالة ناسا (<https://power.larc.nasa.gov/>).

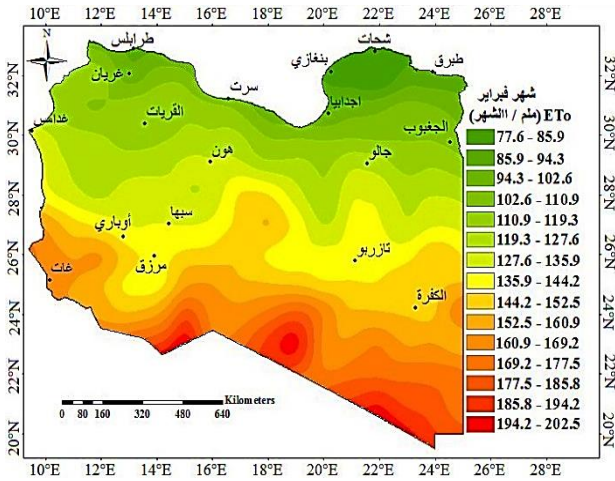


شكل (5): خريطة تساوي قيم المتوسط السنوي لمتوسط الرطوبة النسبية (%).

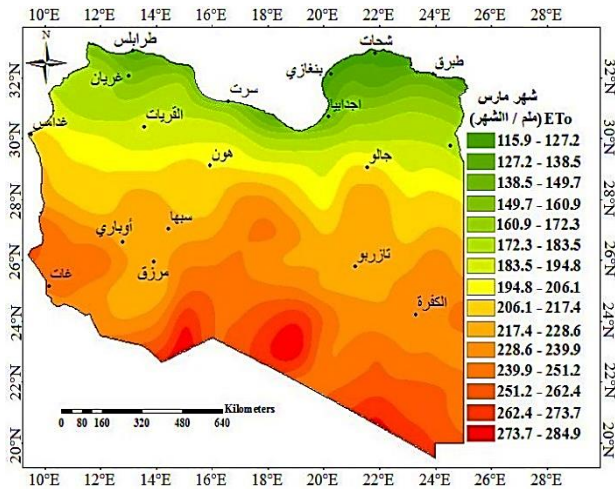
تمثل الخريطة التوزيعات المكانية للقيم الشهرية للبحر - نتج المرجعي، والتي تعكس التأثير المشترك لجميع العوامل المناخية الشهرية على قيم البحر - نتج. كما يمكن أيضاً ملاحظة أن التغيرات الشهرية لعوامل الأرصاد الجوية في مختلف مناطق ليبيا تسببت في الاختلافات المكانية، والزمانية لقيم البحر - نتج المرجعي. في جميع أشهر السنة كما يلاحظ تدرجا واضحا لقيم ET_0 مع الابتعاد عن المناطق الشمالية الساحلية، مما يشير إلى ارتفاع قيم ET_0 ابتداءً من شمال ليبيا إلى أن يصل إلى أعلى قيمة له في أقصى جنوب ليبيا، بسبب الدور المهيمن لارتفاع درجات الحرارة، وزيادة السطوع الشمسي، وانخفاض الرطوبة النسبية مع الابتعاد عن شمال ليبيا (البحر الأبيض المتوسط). إلا أن التباين المكاني للبحر - نتج المرجعي بين شمال وجنوب ليبيا كان منخفضاً في الأشهر الباردة (من شهر نوفمبر إلى شهر فبراير) وكان



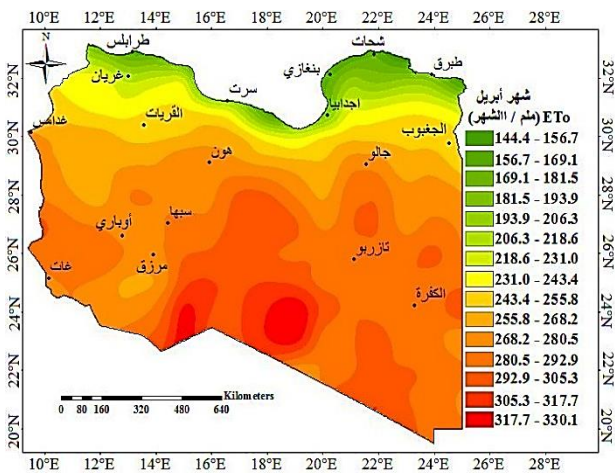
شكل (6): خريطة تساوي قيم المتوسط السنوي لسرعة الرياح على ارتفاع 2 متر (متر/الثانية).



شكل (9). خريطة قيم البخر نتح المرجعي لشهر فبراير.



شكل (10). خريطة قيم البخر نتح المرجعي لشهر مارس.

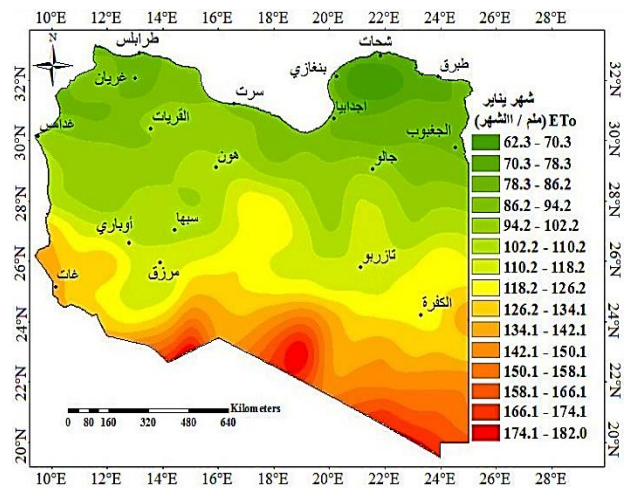


شكل (11). خريطة قيم البخر نتح المرجعي لشهر أبريل.

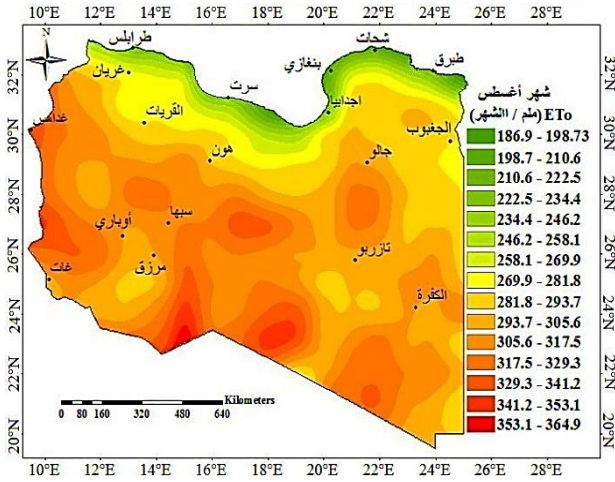
مرتفعاً في الأشهر الساخنة (من مايو إلى أغسطس)، وهذا بدوره سيؤدي إلى تباين في كميات المياه المستهلكة بواسطة المحاصيل الزراعية.

مثلاً لعدد من البلدان الأخرى في المنطقة، فإن الزراعة في ليبيا مقيدة بمحدودية الأراضي الصالحة للزراعة، وانخفاض خصوبة التربة. وبعد التصحر، وموارد المياه العذبة المحدودة أكبر تحد أمام التنمية الزراعية المستقبلية. تفيد خرائط قيم ET_0 الشهرية في تحديد الاحتياجات المائية الشهرية، والموسمية للمحاصيل الزراعية في أي منطقة زراعية في ليبيا؛ بعد تحديد الخصائص الرطوبة للتربة، وتحديد معاملات المحاصيل الزراعية (K_c) الشهرية. كما تساعد هذه الخرائط على فهم نمط التوزيع المكاني، والزمني للبخر - نتح المرجعي في ليبيا، ومعرفة إمكانية التخطيط لإنشاء مشاريع جديدة، أو التوسع في مشاريع قائمة، أو تحديد احتياجات المحاصيل حسب موعد زراعتها دون هدر، أو تقليل.

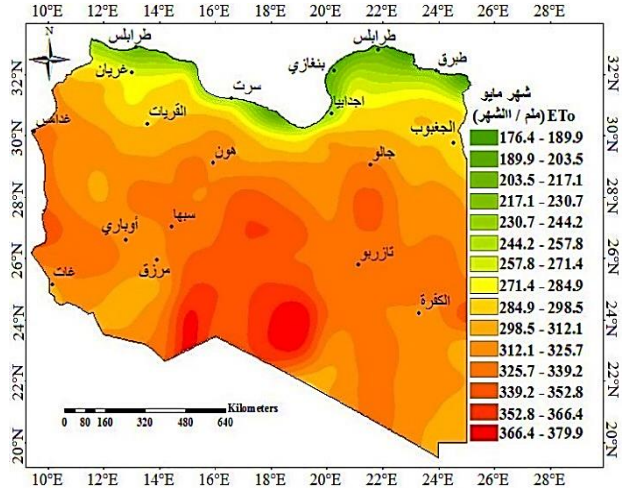
كذلك تسهل هذه الخرائط الحسابات المطولة للبحاث، وصناع القرار؛ لأنها توفر جميع قيم ET_0 ، والتي يمكن تحديد قيمته في أي نقطة، وأي زمان، ومكان من هذه الخرائط.



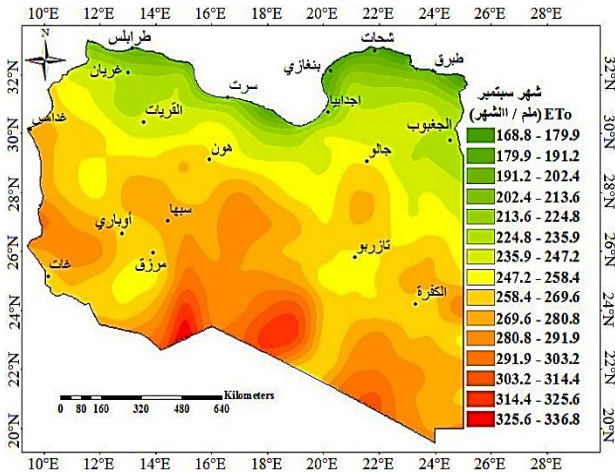
شكل (8). خريطة قيم البخر نتح المرجعي لشهر يناير.



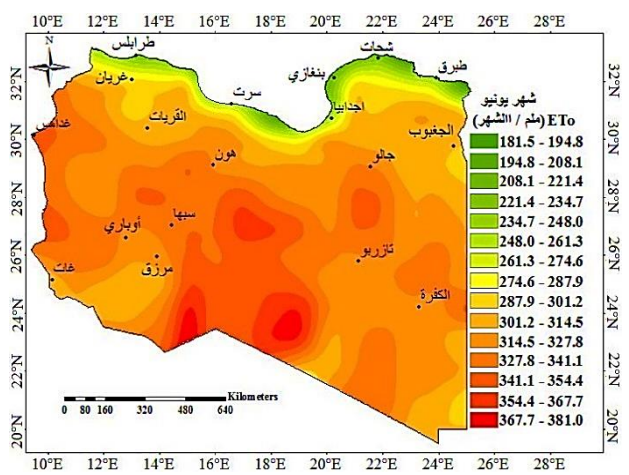
شكل (15). خريطة قيم البخر نتح المرجعي لشهر أغسطس.



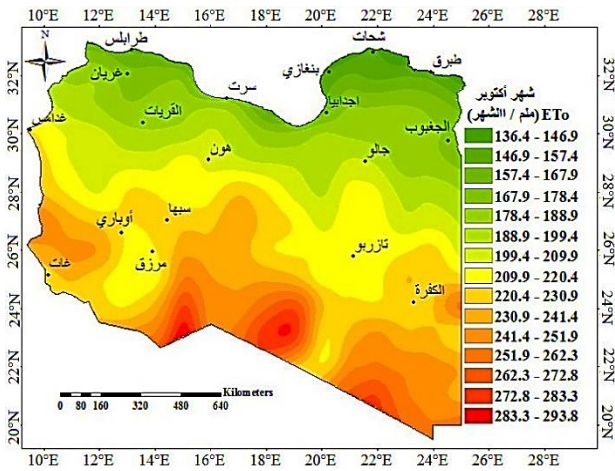
شكل (12). خريطة قيم البخر نتح المرجعي لشهر مايو.



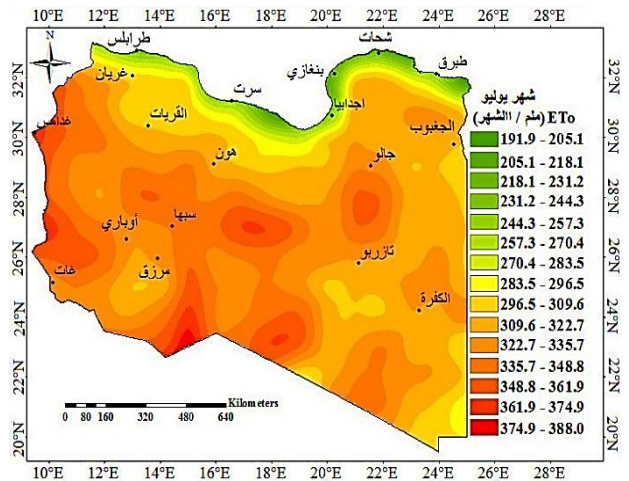
شكل (16). خريطة قيم البخر نتح المرجعي لشهر سبتمبر.



شكل (13). خريطة قيم البخر نتح المرجعي لشهر يونيو.



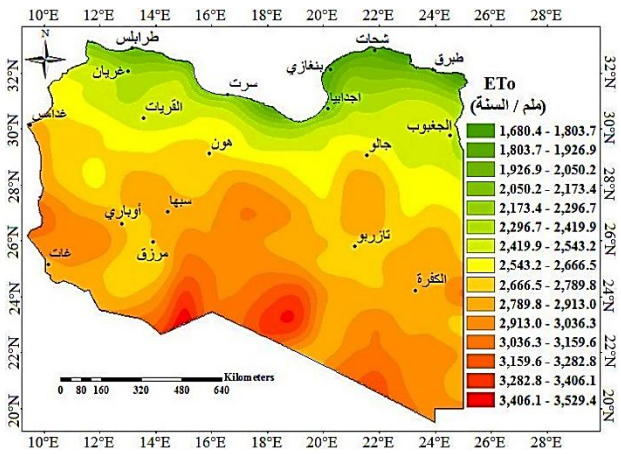
شكل (17). خريطة قيم البخر نتح المرجعي لشهر أكتوبر.



شكل (14). خريطة قيم البخر نتح المرجعي لشهر يوليو.

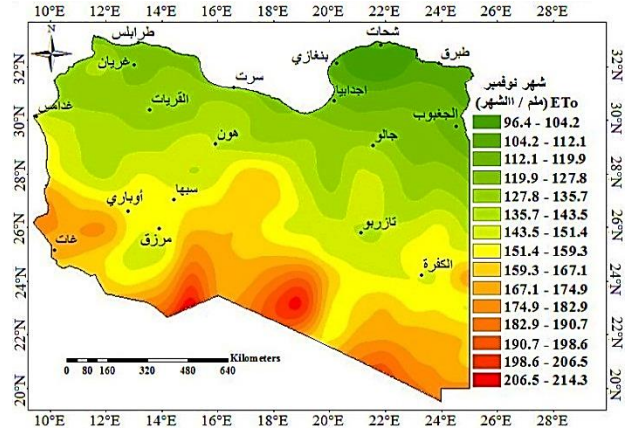
فإن منطقة جنوب ليبيا التي تتلقى كميات أقل من الأمطار تسجل أعلى قيم ET_0 . من ناحية أخرى، القيم العالية لدرجات الحرارة، وانخفاض نسبة الرطوبة النسبية في جنوب ليبيا تؤدي إلى ارتفاع قيم ET_0 .

توفر خرائط تساوي قيم ET_0 معلومات قيمة في تخطيط وإدارة موارد المياه في ليبيا. إن الجمع بين خرائط التوزيع المكاني، والزمني لقيم ET_0 مع التوزيع المكاني، والزمني لمتغيرات الأرصاد الجوية سيوفر خلفية مهمة لدراسات تغير المناخ في مناطق ليبيا. كما توفر هذه الخرائط بيانات مرجعية للدراسات المستقبلية بشأن حساب، وتصوير الاختلافات المكانية، والزمانية للبحر - نتح المرجعي بدقة، لتوفير قاعدة بيانات، ومدخلات مهمة للمشاريع القائمة؛ وتكون بمثابة بيانات مرجعية قيمة للدراسات الإقليمية، والنمذجة الهيدرولوجية، وتخطيط إدارة مشاريع الري، والموارد المائية.

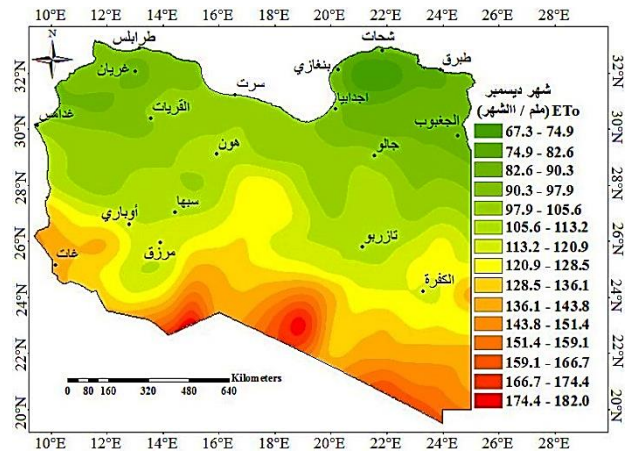


شكل (20): خريطة تساوي القيم السنوية للبحر - نتح المرجعي.

نموذج البحر نتح المرجعي لليبيا (ET_0 Libya): أعد نموذج حاسوبي باستخدام برنامج إكسل، ولغة برمجة الكمبيوتر المعروفة بفيجوال بيسك للتطبيقات Visual Basic for Applications، يوفر هذا البرنامج سهولة الحصول على قيم ET_0 الشهرية، والسنوية عند أي نقطة في ليبيا، والذي لا يتطلب سوى إحداثيات المنطقة (خطي الطول والعرض). يعرض النموذج قيم البحر نتح لكل شهر، وإجمالي



شكل (18): خريطة قيم البحر نتح المرجعي لشهر نوفمبر.



شكل (19): خريطة قيم البحر نتح المرجعي لشهر ديسمبر.

خريطة القيم السنوية للبحر - نتح المرجعي (ET_0 م/م/السنة): خريطة القيم السنوية الموضحة في الشكل (20) والتي تمثل التوزيعات المكانية للبحر نتح المرجعي السنوية، والتي تعكس التأثير المشترك لجميع العوامل المناخية السنوية. يختلف التبخر المرجعي من الناحية المكانية باختلاف البيانات المناخية من منطقة إلى أخرى، حيث يتراوح من 1680 في شمال ليبيا إلى 3529 م/م/السنة في أقصى جنوب ليبيا.

من وجهة نظر مكانية، يتبع توزيع ET_0 السنوي بشكل كبير نمط التوزيع المكاني لدرجة الحرارة القصوى والإشعاع الشمسي الموضحة بالأشكال (4، 7)، كما يتبع نمط التوزيع المكاني للرطوبة النسبية بالشكل (5) ولكن بترتيب عكسي. في الواقع،

استنتاج

يختلف البخر نتح المرجعي ET_0 الموسمي، والسنوي زمانياً، ومكانياً باختلاف البيانات المناخية من منطقة إلى أخرى. ويكون توزيع البخر نتح المرجعي على الخريطة متماثلاً، ومنطقياً، حيث يزداد تدريجياً مع الابتعاد عن ساحل البحر الأبيض المتوسط إلى أن يصل إلى أعلى قيمة له في أقصى جنوب ليبيا. تفيد خرائط تساوي قيم ET_0 الشهرية في تحديد الاحتياجات المائية الشهرية، والموسمية للمحاصيل الزراعية في أي منطقة زراعية في ليبيا، وأيضاً تساعد على فهم التوزيع المكاني، والزمني للبخر نتح المرجعي لاختيار أفضل السياسات الزراعية لإدارة المورد المائي النادر إدارة صحيحة، ومن خلال الرباط المرفق يمكن الحصول على قيم البخر نتح فقط بإدخال إحداثيات الموقع. والتي يمكن الحصول على احتياجات المحاصيل ET_C المختلفة بمعرفة معامل المحصول K_C لكل شهر وتاريخ زراعة المحصول وحصاده.

$$ET_C = K_C ET_0$$

ازدواجية الاهتمام: يعلن المؤلفون أنه ليس لديهم ازدواجية في الاهتمام مرتبطة بهذه المخطوطة.

مساهمات المؤلف: متساوية بين المؤلفين.

التمويل: هذه المخطوطة لم تتحصل على أي تمويل كان.

المراجع

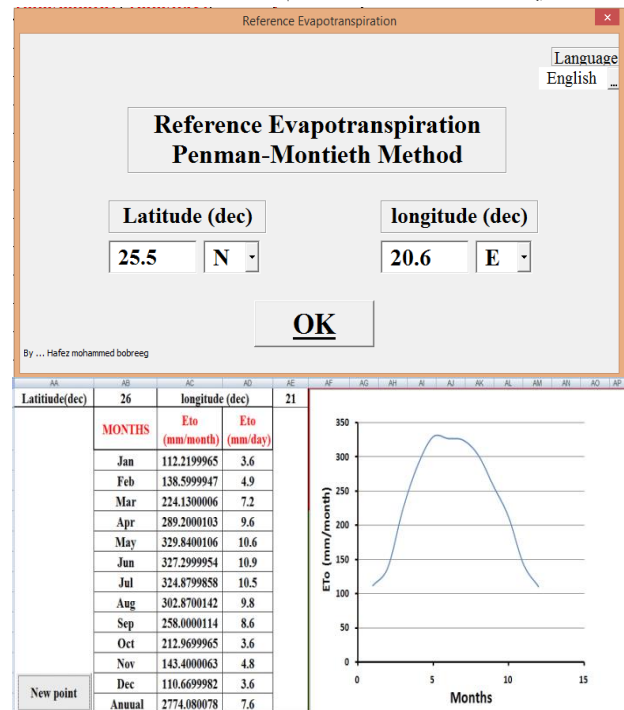
اخنيفر، علي العقاب، وبوبريق، حافظ محمد، و بلومي، فؤاد محمد، (2018). نموذج جامعة عمر المختار لحساب الاحتياجات المائية للري. المؤتمر العلمي الخامس للبيئة والتنمية المستدامة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة (ICESD) - من 23-25 يوليو. 2018 - اجدابيا - ليبيا.

https://www.merefa2000.com/2019/09/blog-post_65.html

Aboelkhair, H., M. Morsy, and G. El Afandi, (2019): Assessment of agroclimatology

قيمة البخر نتح السنوي لتلك المنطقة مستندا على المعلومات المناخية المتوفرة من موقع ناسا، مع العلم بأن النموذج غير متصل بأي برامج خاصة بالمعلومات المناخية، بل يعطي نتائج ET_0 للموقع المطلوب بحساب أقرب نقطة من النقاط السالفة الذكر، والتي قدر لها ET_0 بواسطة نموذج عمر المختار لتقدير الاحتياجات المائية $OMU-ET$ model.1.0.0.

يحتوي النموذج على واجهة للمستخدم لإدخال إحداثيات الموقع المراد معرفة قيم البخر نتح المرجعي عنده، وتعرض النتائج داخل جدول في ورقة من أوراق مصنف إكسل، كما يعرض النموذج رسماً بيانياً للعلاقة بين الزمن، والبخر نتح المرجعي، مع ملاحظة أن النموذج يحتوي على اللغتين العربية، والإنجليزية حسب اختيار المستخدم.



شكل (21): صورة توضح عرض نتائج نموذج البخر - نتح المرجعي بإدخال الإحداثيات.

رابط النموذج:

https://drive.google.com/file/d/1ZlBqF50NW5vmCTwqO7Yp5m02k_UdCzCt/view?usp=share_link

- requirements. *Irrigation and Drainage Paper (FAO)* .(
- El-Shirbeny, M. A., & Abdellatif, B. (2017). Reference evapotranspiration borders maps of Egypt based on kriging spatial statistics method. *GEOMATE Journal*, 13(37), 1-8 .
- Gómez, J., Etchevers, J., Monterroso, A., Gay, C., Campo, J., & Martínez, M. (2008). Spatial estimation of mean temperature and precipitation in areas of scarce meteorological information. *Atmósfera*, 21(1), 35-56 .
- Güler, M. (2014). A comparison of different interpolation methods using the geographical information system for the production of reference evapotranspiration maps in Turkey. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 92(3), 227-240 .
- Huntington, T. G. (2006). Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis. *Journal of Hydrology*, 319(1-4), 83-95 .
- Jed, M., Ihaddadene, N., Jed, M. E. H., Ihaddadene, R., & El Bah, M. (2022). Validation of the Accuracy of NASA Solar Irradiation Data for Four African Regions. *Planning*, 17(1), 29-39 .
- Jensen, M. E., Burman, R. D., & Allen, R. G. (1990). *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements*. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice no. 70. 332 pp .
- Kamali, M. I., Nazari, R., Faridhosseini, A., Ansari, H., & Eslamian, S. (2015). The determination of reference evapotranspiration for spatial distribution mapping using NASA POWER reanalysis datasets for temperature types and relative humidity at 2 m against ground observations over Egypt. *Advances in Space Research*, 64, 129–142, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.03.03>.
- Al-Haram, F. (1995). Topography and geomorphology. *Geography of Libya (ID) Al-Hadi Abo-Lohmah. Al-Dar Al-Jamahiriya LL-Nashir*, 101-120 .
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *Fao, Rome*, 300(9), D05109 .
- Babu, B. S. (2016). Comparative Study on the Spatial Interpolation Techniques in GIS. *International. Journal of Scientific & Engineering Research*, 7, (2), February-2016 ISSN 2229-5518.
- Ben-Mahmoud, K. (1993). The Libyan soil; composition, classification, properties, and agricultural potential. *National Authority for Scientific Research, Benghazi, Libya*, 4 .7
- Blackie, J., & Simpson, T. (1993). Climatic variability within the Balquhiddy catchments and its effect on Penman potential evaporation. *Journal of Hydrology*, 145(3-4), 371-387 .
- Croitoru, A.-E., Piticar, A., Dragotă, C. S., & Burada, D. C. (2013). (Recent changes in reference evapotranspiration in Romania. *Global and Planetary Change*, 111, 127-136 .
- Doorenbos, J., & Pruitt, W. O. (1977). Guidelines for predicting crop water

- Centre for Australian Weather and Climate Research Canberra, Australia .
- geostatistics. *Water Resources Management*, 29 .3940-3929 .
- Raziei, T., & Pereira, L. S. (2013). Spatial variability analysis of reference evapotranspiration in Iran utilizing fine resolution gridded datasets. *Agricultural Water Management*, 126, 104-118 .
- Rodrigues, G. C., & Braga, R. P. (2021a). Estimation of daily reference evapotranspiration from NASA POWER reanalysis products in a hot summer mediterranean climate. *Agronomy*, 11(10), 2077 .
- Rodrigues, G. C., & Braga, R. P. (2021b). Evaluation of NASA POWER reanalysis products to estimate daily weather variables in a hot summer mediterranean climate. *Agronomy*, 11(6) .1207 .
- Ruane, A. C., Goldberg, R., & Chrystanthopoulos, J. (2015). Climate forcing datasets for agricultural modeling: Merged products for gap-filling and historical climate series estimation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 200, 233-248 .
- Tayyeh H. K., & Mohammed, R. (2023). Analysis of NASA POWER reanalysis products to predict temperature and precipitation in Euphrates River basin. *Journal of Hydrology*, 619, 129327 .
- Valeriano, T. T. B., de Souza Rolim, G., Bispo, R. C., da Silva Cabral de Moraes, J. R., & Aparecido, L. E. d. O. (2019). Evaluation of air temperature and rainfall from ECMWF and NASA gridded data for southeastern Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 137, 1925-1938 .
- Keane, R. E., Parsons, R. A., & Hessburg, P. F. (2002). Estimating historical range and variation of landscape patch dynamics: limitations of the simulation approach. *Ecological Modelling*, 151(1), 29-49 .
- McVicar, T. R., & Jupp, D. L. (1998). The current and potential operational uses of remote sensing to aid decisions on drought exceptional circumstances in Australia: a review. *Agricultural systems*, 57(3), 399-468 .
- Monteiro, L. A., Sentelhas, P. C., & Pedra, G. U. (2018). Assessment of NASA/POWER satellite - based weather system for Brazilian conditions and its impact on sugarcane yield simulation. *International Journal of Climatology*, 38(3), 1571-1581 .
- Negm, A., Minacapilli, M., & Provenzano, G. (2018). Downscaling of American National Aeronautics and Space Administration (NASA) daily air temperature in Sicily, Italy, and effects on crop reference evapotranspiration. *Agricultural Water Management*, 209, 151-162 .
- Purnadurga, G., Kumar, T. L., Rao, K. K., Barbosa, H., & Mall, R. (2019). Evaluation of evapotranspiration estimates from observed and reanalysis data sets over Indian region. *International Journal of Climatology*, 39(15), 5791-5800 .
- Raupach, M. R., Briggs, P. R., Haverd, V., King, E. A., Paget, M. J., & Trudinger, C. M. (2009). *Australian water availability project (AWAP): CSIRO marine and atmospheric research component: final report for phase 3.*

- Vicente - Serrano, S. M., Lanjeri, S., & López - Moreno ،J. I. (2007). Comparison of different procedures to map reference evapotranspiration using geographical information systems and regression - based techniques. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 27(8), 1103-1 .118
- White, J. W., Hoogenboom, G., Stackhouse Jr, P. W., & Hoell, J. M. (2008). Evaluation of NASA satellite-and assimilation model-derived long-term daily temperature data over the continental US. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148(10), 1574-1584 .
- White, J. W., Hoogenboom, G., Wilkens, P. W., Stackhouse Jr, P. W., & Hoel, J. M. (2011). Evaluation of satellite - based, modeled - derived daily solar radiation data for the continental United States. *Agronomy journal*, 103(4), 1242-1251 .