مجلة العلوم البحتة والتطبيقية
Journal of Pure & Applied Sciences
www.Suj.sebhau.edu.ly ISSN 2521-9200
Received 15/01/2020 Revised 26/06/2020 Published online 30/06/2020

تقييم أداء بعض نماذج البخر–نتح المرجعي في مناطق جبلية وساحلية من ليبيا

*نوال بالقاسم عبد السميع[1] و علي العقاب اخنيفر[2]
[1]قسم الهندسة الزراعية–كلية الزراعة–جامعة عمر المختار
[2]قسم التربة والمياه–كلية الزراعة جامعة–عمر المختار
*المراسلة: nawalbelgasim@yahoo.com

الملخص أُجريت هذه الدراسة لغرض تقييم أداء تسع معادلات لحساب البخر–نتح المرجعي قياساً بمعادلة الفاو بنمان–مونتيث القياسية (FAO56 Penman–Monteith)، وتحديد أفضل بديل لها من بين المعادلات المستخدمة في المنطقة الساحلية وهي ممثلة بمواقع بنينا وسرت وطرابلس والمنطقة الجبلية وهي ممثلة بموقعـــي شحات ونالوت. المعادلات المستخدمة تشمل معادلة الفاو الإشعاعية (FAO24 Radiation) ومعادلة بريستلي–تايلور (Priestley-Taylor) ومعادلة ماكينك (Makkink) ومعادلة تورك (Turc) ومعادلة الفاو بلاني–كريدل (FAO24 Blaney-Criddle) ومعادلة هارقريفز–سماني (Hargreaves-Samani) ومعادلة ثورنثويت (Thornthwaite) ومعادلة خروفة (Kharrufa) ومعادلة خوسلا (Khosla). أظهرت النتائج اختلاف أداء المعادلات في المنطقتين، فأعطت بعض المعادلات زيادة في تقدير البخر–نتح مقارنةً بالمعادلة القياسية مثل معادلة الفاو الإشعـــاعية، وبعضها الآخر قلّلت في تقدير البخر–نتح مثل معادلة تورك، ومعادلة ماكينك، ومعادلة هارقريفز–سماني، ومعادلة ثورنثويت. بينما أظهرت معادلات أخرى زيادة في أشهر وتقليل في أشهرٍ أخرى مثل معادلة الفاو بلاني–كريدل ومعادلة خروفة، ومعادلة بريستلي–تايلور. تم إجراء المقارنات باستخدام المعايير الإحصائية التالية وهي الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ، ومتوسط خطأ التحيز، ونسبة متوسط خطأ التحيز، ودليل التوافق، ومعامل التحديد، وكفاءة النموذج، واختبار (t). أظهرت نتائج التحليل الإحصائي تفوّق أداء معادلة الفاو بلاني–كريدل على جميع المعادلات المستخدمة في منطقتي الدراسة حيث كانت في المرتبة الأولى في المنطقة الجبلية، والمنطقة الساحلية باستثناء موقع طرابلس. بيّنت النتائج أن أداء معادلتي ثورنثويت وخوسلا كان ضعيفاً جداً مقارنةً بالمعادلة القياسية في منطقتي الدراسة، أما بقية المعادلات فكان أداؤها متفاوتاً مقارنةً بالمعادلة القياسية. أظهر اختبار (t) فروقاً معنويةً بين نتائج المعادلة القياسية ونواتج جميع المعادلات المستخدمة في منطقتي الدراسة، باستثناء معادلتي الفاو بلاني–كريدل خروفة في شحات ونالوت، ومعادلة بريستلي–تايلور في سرت، ومعادلة الفاو الإشعاعية في طرابلس.

الكلمات المفتاحية: البخر–نتح المرجعي،الفاو بنمان–مونتيث، الفاو بلاني–كريدل، الفاو الإشعاعية، خروفة .

Evaluation of reference evapotranspiration models in coastal Mediterranean and mountainous regions of Libya

*Nawal Belgasim Abdasamea[1], Ali Agab Ikheneifer[2]
[1]Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Omar Al-Mukhtar University
[2]Department of Soil and Water Sciences, Faculty of Agriculture, Omar Al-Mukhtar University
*Corresponding author: nawalbelgasim@yahoo.com

ABSTRACT This research was carried out to evaluate performance of nine reference evapotranspiration (ET_0) models against the standard FAO Penman-Monteith model and identify suitable alternative models to FAO Penman-Monteith at mountainous and coastal regions of Libya. Shahat and Nalut sites represents mountainous region and Benghazi, Sirt and Tripoli sites representing coastal region of Libya. The models tested against the standard FAO Penman-Monteith model were the FAO Radiation, FAO Blaney Criddle, Hargreaves-Samani, Priestley-Taylor, Makkink, Turc, Thornthwaite, Kharrufa, and Khosla. The results illustrate that FAO Radiation model overestimated standard ET_0 values. In contrast, the models of Hargreaves-Samani, Makkink, Turc and Thornthwaite underestimated standard ET_0 values. However, models of FAO Blaney-Criddle, Priestley-Taylor and Kharrufa overestimated standard ET_0 values in some months and underestimated standard ET_0 values in other months. The statistical criterions used are index of agreement, modeling efficiency, root mean square error, mean bias error, % mean bias error, coefficient of determination and t-test. Statistical results reveal that the FAO Blaney-Criddle model had superior performance among the other models. FAO Blaney-Criddle model ranked the first in Mountainous and coastal regions except in Tripoli site. Thornthwaite and Khosla models performed poorly in the all study sites. All other models performed irregularly different. T-test analysis at 5 % level of significance indicated that there are significant differences between the standard FAO Penman-Monteith and all models in both regions, except FAO Blaney-Criddle and Kharrufa models in Shahat and Nalut sites, Priestley-Taylor model in Sirt site and FAO Radiation model in Tripoli site.

Keywords: reference evapotranspiration,FAO Penman-Monteith, FAORadiation, FAOBlaney-Criddle, Kharrufa.

مقدمـــــة:

يُقصد بالاستهلاك المائي للنبات مجموع ما يُفقد من الماء عن طريق النتح والبخر،أي كمية المياه التي تمتصها جذور النباتات وتقوم باستهلاكها في بناء أنسجتها وتمر خلال أوراقها إلى الجو الخارجي بالإضافة إلى كمية المياه المُتبخرة من السطوح المختلفة واصطلحعلي تسميته بالبخر–نتح.أُدخل مفهوم البخر–نتح المرجعي لدراسة القدرة التبخيرية للجو بدون الإعتماد على نوع المحصول ومدى تطوره والممارسات الإدارية المتَّبعة، عرَّف خبراء الفاو البخر–نتح المرجعي بأنه معدل البخر–نتح من محصول عشبي افتراضي له طول يبلغ 0.12 متر ومقاومة سطحية ثابتة مقدارها 70 ثانية/متر وانعكاسية 0.23 متر ويشبه إلي حد كبير البخر–نتح من سطح عشبي أخضر شاسع المساحة وبارتفاع منتظم وينمو بشكل فعَّال ويظلل التربة بشكل كامل ولا يعاني من نقص في الماء [1].يُعتبر قياس البخر–نتح أمراً مكلفا وغير سهلاً بسبب الحاجة إلى توفير أجهزة وأدوات خاصة لإجراء القياسات، وتستخدم أجهزة القياس غالباً في البحوث بواسطة فريق بحثي متمرس ذي خبرة جيدة [2]،[3]،[4]. نظراً لصعوبة الحصول على قياسات حقلية مباشرة للبخر–نتح، إتجه المختصون إلى تقديره بإدخال قياسات مناخية محلية (مثل درجة الحرارة والرطوبة النسبية والإشعاع الشمسي وسرعة الرياح) في معادلات تسمى نماذج رياضية (models). يُمكن تصنيف معادلات أو نماذج تقدير البخر–نتح المرجعي إلي ثلاثة مجموعات وهي النماذج الإشعاعية والنماذج الحرارية والنماذج المركبة [5]. طُوِّرت في العقود الأخيرة من القرن الماضي، بواسطة عدد كبير من العلماء والباحثين في مختلف أنحاء العالم،الكثير من النماذج الرياضية المتباينة في فرضياتها وخلفياتها النظرية لإستخدامها في تقدير البخر–نتح المرجعي من العوامل المناخية المختلفة. اهتمت الدراسات ذات العلاقة بالبخر–نتح بتحديث النماذج الرياضية الخاصة بتقدير مُعدَّلات البخر–نتح للتوصل إلى الأفضـــل والأسهـــــل في التطبيـــق [6]. طوَّر بنمان (Penman) [7] معادلة نظرية لحساب البخر من سطح ماء مفتوح وتربة غير مغطاة ثم حوّر مونتيث (Monteith) [8] طريقة بنمان للوصول إلي ما يُعرف الآن بطريقة بنمان–مونتيث (Penman–Monteith) والتي يمكن استعمالها مباشرة قي حساب البخر–نتح المرجعي. أوصت منظمة الأغذية والزراعة في سنة 1977 باستعمال طريقة الفاو بلاني–كريدل وطريقة الفاو الإشعاعية وطريقة الفاو بنمان وطريقـــة حوض البخر[9] ، ولكن أظهرتعدة أبحاث عدم دقَّة الطرق الموصي بها في مواقع مختلفة من العالم [10][1]. توجد حاجة دائمة لتوفير بيانات عن البخر–نتح خلال فترة وجيزة لغرض التخطيط لمشايع الري وتصميمها وإدارتها، ولتلبية هذه الحاجة وفي إطار التطوير والتحديث أوصت منظمة الأغذية والزراعة (FAO) التابعة للأمم المتحدة في سنة 1990 بإعتماد معادلة بنمان–مونتيث (Penman-Monteith) لتقدير البخر–نتح المرجعي (ET_o) في جميع أنحاء العالم وأُعتبرت المعادلة القياسية [1]. أُجريت العديد من الدراسات والبحوث قياساً بمعادلة الفاو بنمان–مونتيث لتقييم النماذج المرجعية الأخرى خصوصاً التي لا تتطلب بيانات كثيرة [12] [13] [14] [15][11]. ظهرت في القرن الماضي العديد من المعادلات التجريبية البسيطة التي شاع استخدامها لحساب البخر–نتح المرجعي بسبب قلة البيانات المطلوبة لتطبيقها. أقدم هذه المعادلات التي تم استخدامها في مناطق مختلفة من العالم معادلة ثورنثويت [16] (Thornthwaite) التي طُوِّرت سنة 1948 ويتطلب تطبيقها درجة الحرارة ومعادلة بـــلاني–كريدل [17] التي استنبطها الباحثان سنة 1950 ويتطلب تطبيقها أيضا درجة الحرارة. كما اشتهرت معادلة ماكينك(Makkink) [18]التي طُوَّرت سنة 1957 ويعتمد تطبيقهاعلي بيانات الإشعاع لتقدير البخر–نتح المرجعي. أما في سنة 1961 فظهرت معادلة تورك (Turc) [19] التي يلزم لتطبيقها توفر درجة الحرارة والإشعاع الشمسي. إضافة إلي ذلك شاع استخدام معادلة بريستلي وتايور (Priestley and Taylor) [20] المطوَّرة سنة 1971 وهى مشتقة من معادلة بنمان الأصلية، ويتطلب تطبيق معادلة بريستلي وتايلور صافي الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة. كما انتشر استخدام معادلة هارقريفز وسماني[21] (Hargreaves and Samani) التي طوّرت في منتصف ثمانينات القرن الماضي ويتطلب استخدامها توفر درجة الحرارة. أجريت دراسة لمقارنة وتقييم أداء عشرون معادلة مختلفة لتقدير البخر–نتح المرجعي تحت ظروف مناخية متباينة باستخدام بيانات من ليسيمترات في إحدى عشر موقعاً عبر العالم، أكدت الدراسة علي وجود تباين واسع في أداء هذه الطرق تحت ظروف مناخية مختلفة [22]. نُشرت حديثاً الكثير من الدراسات لمقارنة وتقييم أداء مختلف أنواع نماذج البخر–نتح المرجعي تحت ظروف مناخية متباينة لتحديد أجودها

في كل منطقة مناخية، شملت الدراسات مناخات متباينة في مختلف الدول والقارات [24][25] [28][29][30][31][32][33][27][26][15][23].

على الرغم من مميزات معادلة الفاو بنمان–مونتيث القياسية كالدقة العالية المتحصل عليها إلا إن تطبيقها يتطلب عدة بيانات مناخية أساسية قد لا تتوفر في جميع محطات الأرصاد الجوي [1]، [34]، [35]. أدى عدم توفر بعض البيانات المناخية اللازمة لتطبيق معادلة بنمان–مونتيث إلى الإستمرار في إستخدام بعض المعادلات التجريبية البسيطة التي يسهل تطبيقها وتتوفر مدخلاتها المناخية في معظم محطات الأرصاد الجوي [33]. لذلك تظهر الحاجة في كل منطقة مناخية إلى معادلة بسيطة يتطلب تطبيقها بيانات مناخية محدودة ومتاحة ونتائجها قريبة من معادلة الفاو بنمان–مونتيث ليتم استخدامها في الأغراض المختلفة. تهدف هذه الدراسة الي تقييم أداء تسع معادلات لحساب البخر–نتح المرجعي قياساً بمعادلة الفاو بنمان–مونتيث في مناطق جبليـــة وتشمل شحات ونالوت وأخري ساحليـــة وتشمل بنينا وسرت وطرابلس وتحديد أفضل بديل لمعادلة بنمان–مونتيث في كل منطقة من بين معادلات البخر–نتح المرجعي المستخدمة.

المواد وطرق الدراسة:

أجريت هذه الدراسة علي بيانات مناخية رُصدت بمحطات الإرصاد الجوي في مناطق الدراسة ويُبيِّن جدول (1) أسماء المحطات وإحداثياتها الجغرافية، والبيانات المناخية المستخدمة تغطي فترة ثلاثون سنة تمتد من سنة 1961م إلى سنة 1990م وتم الحصول عليها من المركز الوطني للأرصاد الجوي. تُغطي هذه الدراسة منطقتين مختلفتين مناخياً هما المنطقة الجبلية والمنطقة الساحلية من ليبيا،المنطقة الجبلية ممثلة بموقعين هما شحات ونالوت، والمنطقة الساحلية ممثلة بثلاثة مواقع هي بنغازي وسرت وطرابلس. البيانات المناخية المستخدمة (وهي متوسطات شهرية لبيانات يومية) تشمل متوسطات درجات الحرارة العظمى والصغرى ومتوسطات درجات الحـــرارة عند نقطة النـــــدى ومتوسطات درجات حرارة الترمومتر الجاف والترمومتر المبلل ومتوسطات الرطوبة النســـبية ومتوسطات سرعة الرياح ومتوسطات عدد ساعات السطوع الشمسي.

جدول (1): الإحداثيات الجغرافية لمحطات الإرصاد الجوية (المركز الوطني للأرصاد الجوي)

اسم المحطة	خط الطول (شرق)	خط العرض (شمال)	الارتفاع (متر)
شحات	21°53′	32°48′	649
نالوت	°59 10′	°52 31′	621
بنينا	°20 16′	°32 05′	130
سرت	°16 35′	1°3 12′	13
مطار طـــرابلس	°13 09′	°32 40′	81

أُستخدم برنامج Ref-ET الإصدار 4.1 (2016) لحساب البخر–نتح المرجعي بالطرق التالية: طريقة الفاو بنمان–مونتيث (FAO56 Penman-Monteith) وطريقة الفاو الإشعاعية (FAO24 Radiation) وطريقة الفاو بـــلاني–كريدل (FAO24Blaney-Criddle) وطريقة تورك (Turc) وطريقة هارقريفز–سماني (Hargreaves-Samani) وطريقة بريستلي–تايلور (Priestley-Taylor) وطريقة ماكينك (Makkink). أما قِيَّم البخر–نتح المرجعي بالطرق الأخرى فتم حسابها بالاستعانة ببرنامـــج الحاسوب ميكروسوفت إكسل (Microsoft Excel).

Ref-ET هو برنامج حاسوب طُوِّر برعاية جامعة أيداهو الأمريكية ومُعد خصيصاً لحساب البخر–نتح المرجعي بخمسة عشر طريقة شائعة، من ضمنها طريقة بنمان–مونتيث القياسية للجمعية الأمريكية للمهندسين المدنيين (ASCE) وكذلك طريقة الفاو بنمان–مونتيث القياسية، ولمعرفة المزيد عن خصائص البرنامج وكيفية استخدامه يرجي الاطلاع علي دليل المستخدم الخاص بالبرنامج [36]. لمقارنة وتقييم جودة المعادلات في حساب البخر–نتح المرجعي أُجريت تحاليل إحصائية للاختلافات بين الطرق المختلفة ومعادلة الفاو بنمان–مونتيث بإستخدام معايير إحصائية أوصت بها بعض الدراسات الإحصائية [37] [38] [39] وشائعة التطبيق في دراسات البخر–نتح [11]،[12]، [13] [14]. المعايير الإحصائية المستخدمة هي متوسط خطأ التحيز (Mean Bias Error, MBE) ومعامل التحديد (Determination Coefficient, R^2) والجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ (Root Mean Square Error, RMSE) واختبـــار تي (t-test) والنسبة المئوية لمتوســـط خطأ التحيز (Percental Mean Bias Error, % MBE) ودليل التوافق (Index of agreement, d) وكفاءة النموذج (Modeling Efficiency, E). تم حساب الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ (RMSE) ومعامل التحديد (R^2) ومتوسط خطأ التحيز (MBE) والنسبة المئوية لمتوسط خطأ التحيز (% MBE) واختبار تي (t-test) بتطبيق الصيغ الرياضية لتلك للمعايير

الإحصائية التي أوردها كوردوفا وآخرون [25] وصابزيبرفار وطبري [40]، أما دليل التوافــق (d) وكفاءة النموذج (E) فتم حسابهما وفقاً للصيغ الرياضية للمعيارين الواردة في دراسات كل من قاو وآخرون [11] وباندي وآخرون [12] وشيخ ومحمدي [41].

المعادلات المستخدمة في الدراسة:

1.معادلة الفاو بنمان–مونتيث FAO P-M :
(FAO56Penman- Monteith)
تعطي معادلة FAO P-M قيم متقاربة للإستهلاك المائي الفعلي للمحاصيل في جميع أنحاء العالم وهي المرجعية في هذه الدراسة وصيغتها الرياضية كالتالي [1]:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{av}+273} U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34\, U_2)}$$

حيث أن: ET_o = البخر–نتح المرجعي (مم/يوم).
U_2=سرعة الرياح عند ارتفاع مترين (م/ث). e_a= ضغط البخار الفعلي (كيلو باسكال).،G= شدة تدفق حرارة التربة (ميجا جول /م^2/يوم).، e_s= ضغط البخار المشبع (كيلو باسكال).، T_{av}= متوسط درجة حرارة الهواء اليومية (م°)عند ارتفاع مترين. γ=ثابت جهاز قياس الرطوبة السايكومتر (كيلو باسكال/م°).،R_n= صافي الإشعاع الشمسي عند سطح المحصول (ميجا جول /م^2 /يوم).،Δ = ميل منحنى ضغط البخار المشبع (كيلو باسكال/م°).

2.معادلة الفاو بلاني–كريدل FAO B-C :
(FAO24 Blaney-Criddle)
تعطي معادلة FAO B-C نتائج مقبولة تحت ظروف المناطق شبه الجافة والجافة، وهذه المعادلة تحتاج إلى درجة الحرارة فقط، وصيغتها الرياضية كالتالي [9]:

$$ET_o = c\,[P(0.46\,T_m + 8)]$$

حيث أن:
T_m= متوسط درجة حرارة الهواء (م°).،P= المتوسط اليومي للنسبة المئوية لإجمالي ساعات النهار السنوية للشهر المحدد وخط العرض المحدد.، c= معامل يعتمد على أدنى نسبة رطوبة للجو وساعات الإضاءة في اليوم وسرعة الرياح في النهار وتستخدم منحنيات خاصة لتقدير قيم ET_o وذلك حسب نسبة الرطوبة الجوية الدنيا ونسبة ساعات السطوع الشمسي وسرعة الرياح في النهار.

3.معادلة ثورنثويت TW (Thornthwaite, 1948):
تعتمد معادلة TW على درجة الحرارة فقط، وتكتب المعادلة كالآتي [15]:

$$ET_m = 1.6\left(\frac{10\,T_m}{I}\right)^a$$

حيث أن :ET_m= البخر–نتح المرجعي الشهري (بالمليمتر).
I= معامل (دليل) الحرارة لفترة 12 شهراً ويحسب كالآتي:

$$I = \sum_{i=1}^{12}\left(\frac{T_m}{5}\right)^{1.514}$$

حيث أن:
$a=6.75\times10^{-7}I^3-7.71\times10^{-5}\,I^2 + 1.792\times 10^{-2}\,I+0.49239$
i= تدل على كل شهر من أشهر السنة.

4.معادلة هارقريفز–سماني H-S :
(Hargreaves and Samani, 1985)
تعتمد معادلة H-S على درجة الحرارة وتأخذ الصيغة التالية[15][42]:

$$ET_o = 0.0023(T_{max} - T_{min})^{0.5}(T_m + 17.8)R_a$$

حيث أن:
T_{max}= درجة الحرارة العظمى (م°).،T_{min}= درجة الحرارة الصغرى (م°).، R_a= الإشعاع الشمسي الواصل إلى الغلاف الجوي (ميجا جول/م^2/يوم).

5.معادلة خروفة KF (Kharrufa, 1985):
تعتمد معادلة KF على درجة الحرارة فقط، وتكتب في الصيغة كالتالي [42]:

$$ET_m = 0.34\,pT_m{}^{1.34}$$

حيث أن:
p = النسبة المئوية لعدد الساعات المضيئة خلال شهر إلى عدد الساعات المضيئة خلال عام.

6.معادلة خوسلا KS (Khosla, 1949):
تعتمد معادلة KS على درجة الحرارة فقط، وتأخذ الصيغة التالية [43]:

$$ET_m = 4.813\,T_m$$

7.معادلة ماكينك MK (Makkink, 1957) :
تعتمد معادلة MK على درجة الحرارة والإشعاع، وتأخذ الصيغة التالية[15]:

$$ET_0 = 0.61\,\frac{\Delta}{\Delta+\gamma}\frac{R_s}{\lambda} - 0.12$$

حيث أن:

λ= الحرارة الكامنة للبخر (ميجا جول/كجم).

R_S = الإشعاع الشمسي قصير الموجة (ميجا جول/م²/اليوم).

8.معادلة الفاو الإشعاعية FAO RD (FAO24 Radiation):

معادلة FAO RD هي في الأساس تحوير لمعادلة MK [18]، وتكتب المعادلة على النحو التالي [9]:

$$ET_o = c(w \,.\, R_s)$$

حيث أن:W=معامل وزني يعتمد على درجة الحرارة والإشعاع.

C=معامل تعديل يعتمد على متوسط الرطوبة والرياح في النهار.

9. معادلة بريستلي–تايلور P-T :

(Priestley and Taylor, 1972)

تحتاج معادلة P-T إلى صافي الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة وتكتب هذه المعادلة كالتالي [15]:

$$\mathrm{ET_o} = 1.26\,\frac{\Delta}{\Delta+\gamma}(R_n - G)\frac{1}{\lambda}$$

10. معادلة تورك TC (Turc, 1961):

تعتمد معادلة TC على درجة الحرارة والرطوبة النسبية والإشعاع الشمسي وتكتب في الصيغة الرياضية التالية [33][36]:

$$\mathrm{ET_o} = a_T 0.0133\frac{T_m}{T_m+15}\frac{23.8856R_s+50}{\lambda}$$

حيث a_T =1 إذا كان متوسط الرطوبة النسبية (RH_m) اكبر من أو يساوي 50 % وإذا كان متوسط الرطوبة النسبية (RH_m) اقل من 50 % فتحسب a_T كالتالي:

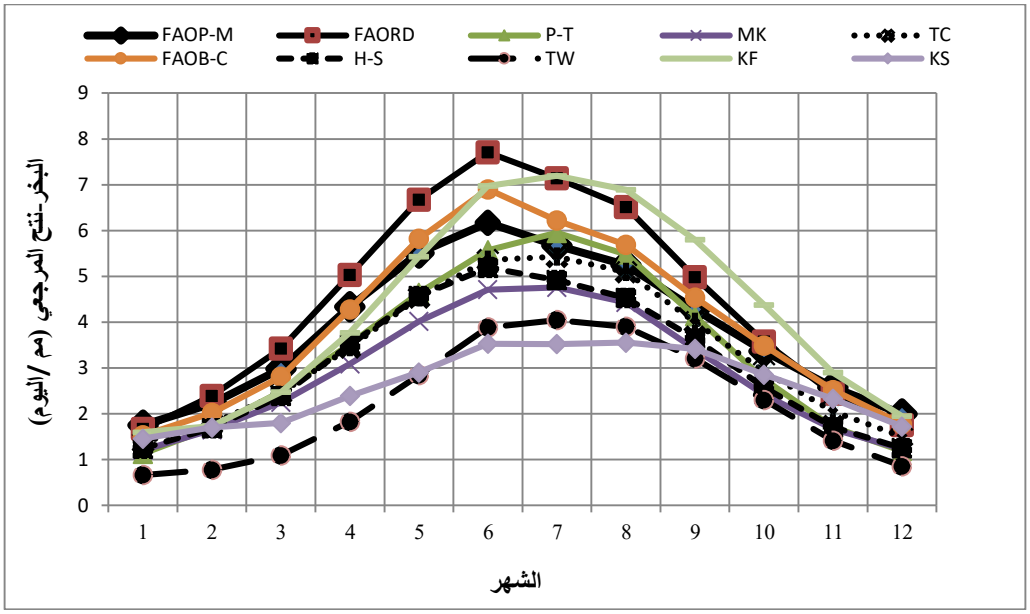
$$\mathrm{a_T} = 1 + \left(\frac{50 - \mathrm{RH_m}}{70}\right)$$

النتائج والمناقشة:

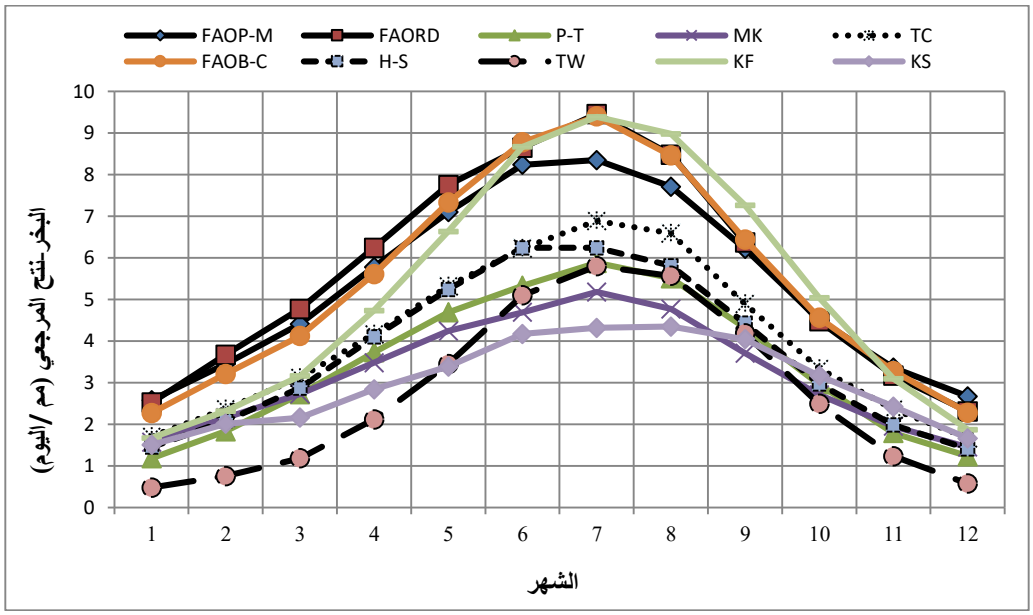
نتائج البخر–نتح المرجعي (ET_o) بالمليمتر في اليوم المتحصل عليها من تطبيق جميع المعادلات تم تمثيلها بيانياً في الأشكال من (1) إلى (5)، يلاحظ في هذه الأشكال بشكل عام انخفاض قيم ET_o الناتجة من جميع المعادلات في منطقتي الدراسة خلال أشهر الشتاء. قد يُعزى ذلك إلى انخفاض درجات الحرارة والإشعاع الشمسي مع ارتفاع الرطوبة النسبية، بخلاف فصل الصيف الذي تكون فيه درجات الحرارة مرتفعة والإشعاع الشمسي مرتفع وقيم منخفضة للرطوبة النسبية الأمر الذي يؤدي إلى زيادة قيم ET_o. أظهرت المعادلات المستخدمة أداءً مختلفاً مقارنةً بمعادلة FAO P-M القياسية في موقعي المنطقة الجبلية ويُلاحظ ذلك من النتائج المبيّنة في الشكلين (1) و (2).

أعطت بعض المعادلات زيادة في قيم ET_o المقدَّرة بينما بعضها الآخر أعطت قيماً ناقصة لنواتج ET_o مقارنةً بالمعادلة القياسية.كانت أكبر زيادة في تقديرات ET_o لمعادلة KF في شحات ونالوت خـــلال شهر سبتمبر بمقدار 35.52 % و 16.82 % على التوالي، ثم تليها معادلة الفاو الإشعاعية حيث زادت في تقدير ET_o في شحات ونالوت خـــلال شهـــر يوليو بمقدار 25.93% و 13.29% على التوالي. بينما كانت أقصي زيادة ناتجة من معادلـــة FAO B-C في شحات خلال شهر يونيو بمقدار 11.83% وفي نالوت خلال شهر يوليو وبمقدار 12.57%. قللت معـــــادلات TW وKS و TC و H-S و P-T و MK في تقديرات ET_o مقارنة بمعادلة FAO P-M. كان أكبر تقليل في تقديرات ET_o لمعادلة TW خلال شهر فبراير في موقع شحات بمقـــدار –64.94 %، بينما كان أكبر تقليل في موقع نالوت خلال شهر ينايـــر بمقدار –81.49 %. كان أكبر انخفاض في تقديرات ET_o لمعادلة KS خلال شهر مايو في شحات ونالوت بمقدار –47.31 % و –52.33 % على التوالي. قللت كلٍ من معادلات H-S وTC وMK في تقديرات ET_o خلال كل أشهر السنة في موقعي شحات ونالوت بنسب متفاوتـــة تتراوح بين –38.50 % و –3.05 % في شحات، وبيـــن –47.19 % و –14.53 % في نالوت. كذلك أظهرت معادلات أخرى زيادة في أشهر وتقليل في أشهرٍ أخرى مثل معادلة KF ومعادلة P-T ومعادلة FAO B-C. تُبيِّن المنحنيات في الأشكال (3) و (4) و (5) أداء المعادلات في مواقع المنطقة الساحلية، ويتَّضح من المنحنيات أن كلٍ من معادلة FAO B-C ومعادلة FAO RD ومعادلة KF زادت في تقديرات ET_o مقارنة بالمعادلة القياسية. كما يتضح من المنحنيات أيضاً أن معادلات TC و H-S و MK وTW وKS قللت في تقديرات ET_o مقارنـــةً بالمعادلة القياسية. أعطت معادلة P-T تقديرات مرتفعة لقيم ET_o مقارنـــةً بالمعادلة القياسية في سرت، بينما أعطت تقديرات منخفضة لقيم ET_o في بنغازي وطرابلس. كانت أكبر زيادة في تقديرات لقيم ET_o لمعادلة KF في سرت، وطرابلس، وبنغازي ونسبة الزيادة هي 52.01 %، و 39.36 %، و 33.30 % على التوالي. بينما كانت أكبر زيادة في قيم ET_o لمعادلة FAO RD في سرت وبنغازي بنسبة تتراوح بين 23.71 % و 16.76 % على التوالي،أما في طرابلس فأظهرت معادلة FAO B-C أكبر زيادة في تقدير ET_o بعد معادلة KF بمقدار 13.98 %. كانت أكبر زيادة في تقديرات ET_o لمعادلة FAO B-C بنسبة 13.98 % في طرابلس وبنسبة 11.27 % في بنغازي و وبنسبة

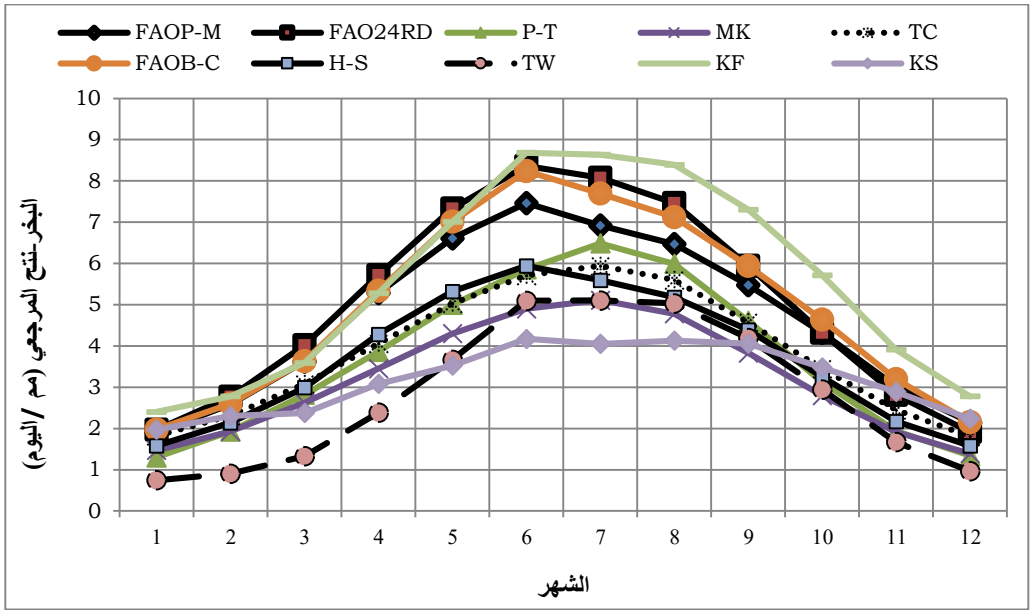
10.86 % في سرت. أظهرت TW أكبر انخفاض في تقديرات ET_0 بنسبة -69.30 % خلال شهر فبراير في طرابلس وبنسبة -64.92 % خلال شهر فبراير في بنغازي وبنسبة -93.62 % خلال شهر يناير في سرت. قللت معادلة KS من تقديرات ET_0 خلال أشهر السنة في بنغازي وطرابلس وسرت وتأتي بعد TW من حيث درجة التقليل. كان أكبر تقليل لمعادلة KS خلال الأشهر من مايو إلى أغسطس في بنغازي وطرابلس، بينما في سرت من شهر يونيو إلى شهر أغسطس. أدى تطبيق معادلات H-S، وTC، وMK إلى انخفاض في تقديرات ET_0 خلال كل أشهر السنة في بنغازي وطرابلس وسرت بنسب متفاوتة تتراوح بين -36.42 % و -4.21 % في بنغازي، وبين -41.57 % و -0.18 % في سرت وبين -38.18 % و -7.73 % في طرابلس. يستثنى من ذلك تقديرات معادلة TC في سرت خلال شهر يوليو فقط حيث زادت في تقدير ET_0.قللت معادلة P-T في تقديرات ET_0 خلال جميع أشهر السنة وبلغ أكبر انخفاض -44.09 % في طرابلس و-37.67 % في بنغازي. أما في سرت فأظهرت معادلة P-T زيادة في تقديرات ET_0 خلال أشهر يونيو ويوليو وأغسطس وتتراوح نسبة الزيادة بين 19.69 % و 2.63 %، بينما خفضت في تقديرات ET_0 في بقية أشهر السنة وكانت نسبة التقليل تتراوح بين -46.44 % و -4.82 %.



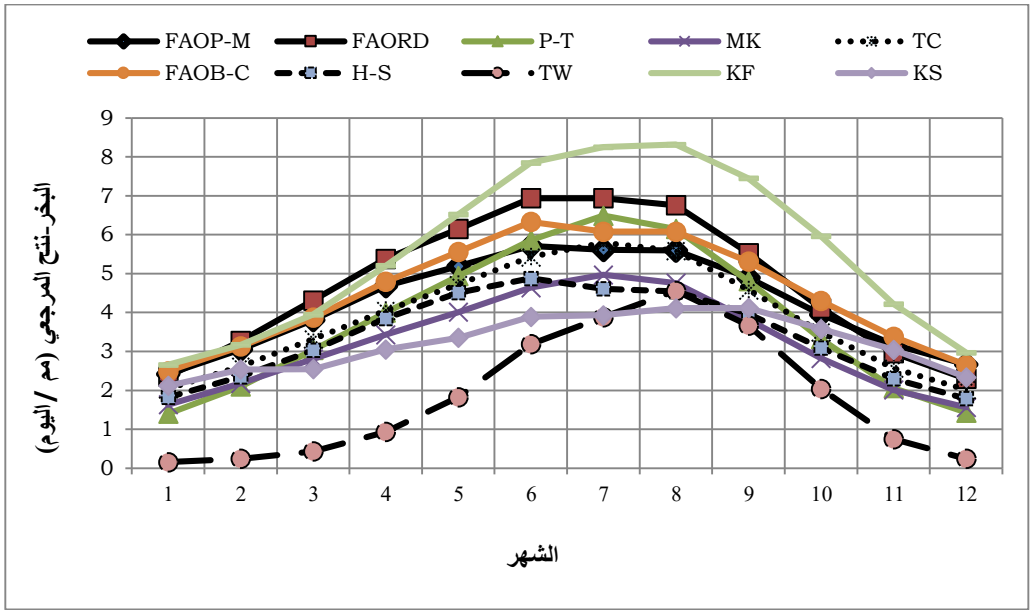
شكل (1):البخر-نتح المرجعي المقدر بالطرق المختلفة للمنطقة الجبلية بموقع شحات.



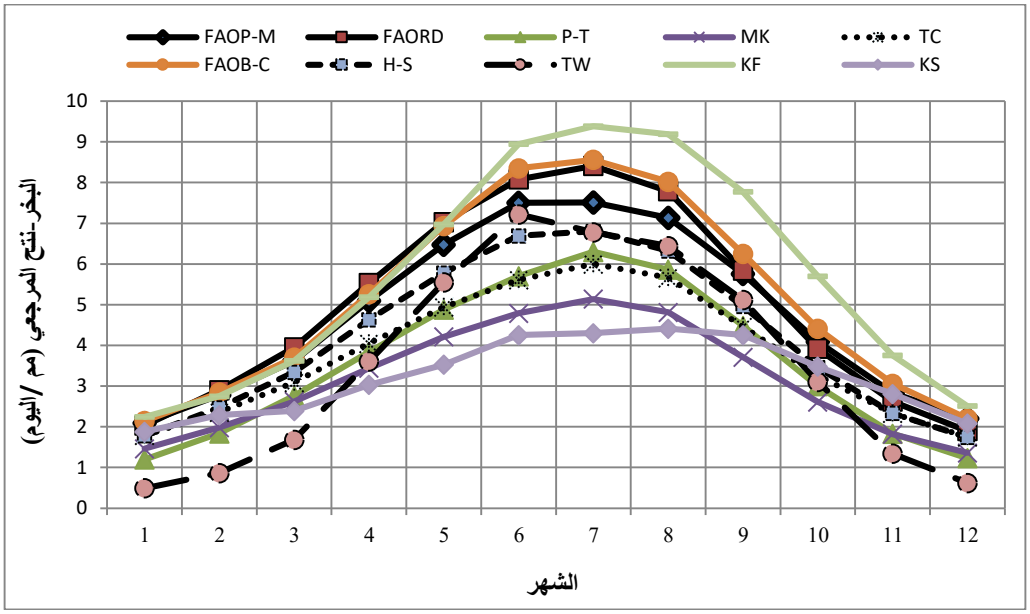
شكل (2): البخر-نتح المرجعي المقدر بالطرق المختلفة للمنطقة الجبلية بموقع نالوت.



شكل (3): البخر–نتح المرجعي المقدر بالطرق المختلفة للمنطقة الساحلية بموقع بنغازي.



شكل (4): البخر–نتح المرجعي المقدر بالطرق المختلفة للمنطقة الساحلية بموقع سرت.



شكل (5): البخر–نتح المرجعي المقدر بالطرق المختلفة للمنطقة الساحلية بموقع طرابلس.

أجريت مجموعة من الاختبارات الإحصائية باستخدام حزمة من المعايير بناءً على توصيات من عدة مصادر[39][44][33][11] بعدم الاعتماد على بعض المعايير الإحصائية بمفردها لأنها قد تؤدي إلي استنتاج خاطئ. تم تصنيف المعادلات المستخدمة وفقا لجودة أدائها اعتماداً على مدي تفوقها في الحصول علي أفضل نتيجة في أكبر عدد من المعايير الإحصائية. وفيما يلي عرض لنتائج التحليل الإحصائي:

المنطقة الجبلية: يتضح من نتائج التحليل الإحصائي في موقعي شحات ونالوت المدرجة في الجدولين (2) و(3) أن معادلة FAO B-C تحصلت علي أفضل نتيجة في جميع المعايير الإحصائية المستخدمة وبالتالي حققت أفضل أداءً من جميع المعادلات المستخدمة وتحصلت علي المرتبة الأولي. أعطت معادلة FAO B-C أقل قيمة في المعايير التالية : متوسط الجذر التربيعي لمربع الخطأ (RMSE) ومتوسط خطأ التحيز (MBE) ونسبة متوسط خطأ التحيز (%MBE)، فكانت قيمها في شحات 0.34 مم/يوم،0.12، 0.27% علي التوالي بينما كانت قيمها في نالوت 0.46 مم/يوم،0.11 مم/يوم، 0.73% علي التوالي. أعطت معادلة FAO B-C في شحات أفضل كفاءة E بمقدار 0.949، وأعلى مؤشر للتوافق d بمقدار 0.989، وأعلى معامل تحديد R^2 بمقدار 0.996. كذلك في نالوت أعطت معادلة FAO B-C أعلى E و d بمقدار 0.951 ،0.990 على التوالي. كما يوضح الجدولين (2) و(3) أن قيمة P-Value للمعادلتين FAO B-C و KF في شحات ونالوت أكبر من درجة المعنوية 0.05 وهذا يدل على عدم وجود فروق معنوية بين هاتين المعادلتين ومعادلة FAO P-M. يوضح جدول (2) أن معادلة TC تأتي في المرتبة الثانية و معادلة P-T تأتي في المرتبة الثالثة و معادلة FAO RD تأتي في المرتبة الرابعة في شحات. كما يتضح من جدول (3) أن معادلة FAO RD تأتي في المرتبة الثانية ومعادلة KF تأتي في المرتبة الثالثة ومعادلة TC تأتي في المرتبة الرابعة في نالوت. بقية المعادلات تبتعد عن معادلة FAO P-M بدرجات متفاوتة وصولاً لمعادلة TW الأقل أداءً بين جميع المعادلات. كانت قيمة P-Value لبقية المعادلات وهي P-T، وH-S، وTC، وFAO RD، KS، وTW، وMK أقل من درجة المعنوية 0.05 وهذا يدل على وجود فروق معنوية بين تلك المعادلات ومعادلة FAO P-M.

جدول (2): نتائج التحليل الإحصائي للطرق المستخدمة في موقع شحات.

P-Value	t	E	d	R^2	%MBE	MBE	RMSE	الطريقة
0.222	1.29	0.949	0.989	0.996	0.27	0.12	0.34	FAOB-C
0.000*	-16.87	0.745	0.937	0.993	-21.79	-0.74	0.76	H-S
0.118	1.69	0.631	0.934	0.891	7.03	0.41	0.91	KF
0.001*	-4.67	-0.038	0.703	0.796	-28.64	-1.24	1.53	KS
0.000*	-10.48	0.568	0.890	0.977	-26.21	-0.94	0.99	MK
0.002*	-4.21	0.828	0.963	0.958	-17.21	-0.49	0.62	P-T
0.008*	3.24	0.674	0.945	0.995	11.20	0.60	0.86	FAO RD
0.000*	-6.91	0.856	0.964	0.973	-15.16	-0.51	0.57	TC
0.000*	-9.54	-0.295	0.732	0.867	-45.58	-1.61	1.70	TW

جدول (3) : نتائج التحليل الإحصائي للطرق المستخدمة في موقع نالوت.

الطريقة	RMSE	MBE	%MBE	R^2	d	E	t	P-Value
FAO B-C	0.46	0.11	-0.73	0.994	0.990	0.951	0.85	0.412
H-S	1.66	-1.63	-33.26	0.999	0.846	0.102	-18.24	0.000*
KF	0.91	-0.13	-8.02	0.942	0.964	0.804	-0.48	0.642
KS	2.63	-2.36	-42.45	0.879	0.646	-0.636	-6.72	0.000*
MK	2.30	-2.15	-40.15	0.992	0.711	-0.242	-8.67	0.000*
P-T	1.99	-1.93	-39.00	0.990	0.785	0.069	-14	0.000*
FAO RD	0.50	0.29	3.35	0.992	0.988	0.941	2.37	0.037*
TC	1.35	-1.31	-26.50	0.986	0.893	0.570	-13.1	0.000*
TW	2.69	-2.62	-55.29	0.912	0.705	-0.708	-14.14	0.000*

ملاحظة: * تدل على وجود فروق معنوية.

المنطقة الساحلية: نتائج التحليل الإحصائي للطرق المستخدمة في حساب ET_0 في مواقع المنطقة الساحلية مُدرجة في الجداول (4) و (5) و (6). يتَّضح من الجدولين (4) و (5) أن معادلة FAO B-C حققت أفضل أداء في بنغازي وسرت وفقاً لجميع المعايير الإحصائية المستخدمة باستثناء اختبار(t). يرجع حصول معادلةFAO B-C على هذه الأفضلية إلى تفوقها في اكبر عدد من الاختبارات الإحصائية حيث حققت أقل قيمة لمتوسط الجذر التربيعي لمربع الخطأ RMSE بمقدار 0.42مم/يوم في بنغازي، و 0.33 مم/يوم في سرت. كما حققت معادلة FAO B-C أقل قيمة لمتوسط خطأ التحيز MBE بمقدار0.31 مم/يوم في بنغازي، و0.27 مم/يوم في سرت. كما أظهرت معادلة FAO B-C أقل قيمة لنسبة متوسط خطأ التحيز MBE% بمقدار 5.54 % في بنغازي، و 5.60 % في سرت. كما أعطت معادلة FAO B-C أفضل كفاءة E بمقدار 0.950، وأعلى مؤشر للتوافق d بمقدار 0.989، وأعلى معامل تحديد R^2 بمقدار 0.996 في بنغازي. كما أعطت معادلة FAO B-C في سرت أفضل كفاءة E بمقدار 0.917، وأعلى مؤشر للتوافق d بمقدار 0.982، وأعلى معامل تحديد R^2 بمقدار 0.994. حققت معادلة FAO B-C أفضل أداءً بين المعادلات مما يجعلها الأقرب لمعادلة FAO P-Mفي بنغازي وسرت. يتَّضح من نتائج التحليل الإحصائي المبينة في جدول (6) أن معادلة FAO RD كانت الأفضل أداءً في طرابلس حيث كانت لها أقل قيمة لمتوسط الجذر التربيعي لمربع الخطأ (RMSE) بمقدار0.45 مم/يوم، وأعطت أقل قيمة لمتوسط خطأ التحيز (MBE) بمقدار 0.24مم/يوم. كما حققت معادلة FAO RD أيضا أقل قيمة لنسبة متوسط خطأ التحيز MBE% بمقدار 2.73% . كما أعطت معادلة FAO RD في طرابلس أفضل كفاءة E بمقدار 0.950 وأعلى مؤشر للتوافق d بمقدار 0.989 وأعلى معامل تحديد R^2 بمقدار 0.993. يلاحظ من جدول (4) أن ترتيب أداء بقية المعادلات في موقع بنغازي كالتالي: معادلة FAO RD تأتي في المرتبة الثانية، ومعادلة TC تأتي في المرتبة الثالثة، ومعادلة KF تأتي في المرتبة الرابعة. نستنتج من جدول (5) أن ترتيب أداء بقية المعادلات في موقع سرت كالتالي: معادلة TC تأتي في المرتبة الثانية، ومعادلة FAO RD تأتي في المرتبة الثالثة، وتأتي معادلة P-T في المرتبة الرابعة. يتبيَّن من جدول (6) أن ترتيب أداء بقية المعادلات في موقع طرابلس كالتالي: معادلة FAO B-C تأتي في المرتبة الثانية، ومعادلة H-S تأتي في المرتبة الثالثة، ومعادلة KF تأتي في المرتبة الرابعة. اختلف أداء بقية المعادلات بدرجات متفاوتة في كل المواقع حيث تباين ترتيب بقية المعادلات بعد المرتبة الرابعة وفقا لمدي قرب نتائجها من معادلة FAO P-M. المعادلات المتبقية تشمل H-S، و KS، و MK في بنغازي و سرت و P-Tفي بنغازي وطرابلس وKF في سرت وKS، وMK ،TC في طرابلس. كان أسوأ أداء لمعادلة TW في جميع المواقع. يوضح جدول (4) أن قيمة P-Value في بنغازي لجميع المعادلات أقل من درجة المعنوية 0.05 وهذا يدل على وجود فروق معنوية بين هذه المعادلات ومعادلة FAO P-M. كما يُبيِّن جدول (5) وجدول (6) أن قيمة P-Value لمعادلة P-T في سرت، ومعادلة FAO RD في طرابلس أكبر من درجة المعنوية 0.05 وهذا يدل على عدم وجود فروق معنوية بين نتائج المعادلتين و نتيجة معادلة FAO P-M. كما يتضح أيضاً من الجدولين (5) و (6) أن قيمة P-Value في سرت و طرابلس لبقية المعادلات تكون أقل من درجة المعنوية 0.05، باستثناء معادلة FAO RD في طرابلس ومعادلة P-T في سرت، وهذا يدل على وجود فروق معنوية بين نتائج تلك المعادلات ومعادلة FAO P-M.

جدول (4) :نتائج التحليل الإحصائي للطرق المستخدمة في موقع بنغازي.

P-Value	t	E	d	R^2	%MBE	MBE	RMSE	الطريقة
0.004*	3.62	0.950	0.989	0.996	5.54	0.31	0.42	FAO B-C
0.000*	-8.49	0.711	0.919	0.995	-20.72	-0.95	1.02	H-S
0.001*	4.33	0.652	0.932	0.936	19.58	0.89	1.12	KF
0.002*	-4.00	-0.001	0.688	0.846	-24.76	-1.46	1.90	KS
0.000*	-7.54	0.310	0.810	0.975	-30.73	-1.44	1.58	MK
0.000*	-8.01	0.699	0.926	0.957	-23.51	-0.96	1.04	P-T
0.011*	3.06	0.899	0.980	0.992	6.38	0.41	0.60	FAO RD
0.000*	-5.65	0.742	0.924	0.978	-16.59	-0.83	0.96	TC
0.000*	-9.67	-0.022	0.782	0.897	-43.63	-1.81	1.92	TW

جدول (5) :نتائج التحليل الإحصائي للطرق المستخدمة في موقع سرت.

P-Value	t	E	d	R^2	%MBE	MBE	RMSE	الطريقة
0.001*	4.43	0.917	0.982	0.994	5.60	0.27	0.33	FAO B-C
0.000*	-21.91	0.464	0.878	0.990	-20.98	-0.84	0.85	H-S
0.001*	4.33	-1.049	0.770	0.909	27.85	1.31	1.65	KF
0.000*	-5.25	-0.074	0.718	0.776	-21.93	-1.01	1.20	KS
0.000*	-18.87	0.210	0.843	0.977	-25.92	-1.01	1.03	MK
0.051	-2.19	0.540	0.930	0.974	-15.35	-0.43	0.78	P-T
0.010*	3.1	0.566	0.931	0.989	9.45	0.52	0.76	FAO RD
0.000*	-5.27	0.850	0.968	0.980	-10.71	-0.38	0.45	TC
0.000*	-7.96	-3.825	0.561	0.741	-62.82	-2.41	2.54	TW

جدول (6) :نتائج التحليل الإحصائي للطرق المستخدمة في موقع طرابلس.

P-Value	t	E	d	R^2	%MBE	MBE	RMSE	الطريقة
0.004*	3.67	0.932	0.986	0.996	6.61	0.39	0.52	FAO B-C
0.000*	-9.66	0.910	0.976	0.997	-12.76	-0.57	0.60	H-S
0.003*	3.77	0.629	0.933	0.948	17.49	0.91	1.22	KF
0.001*	-4.20	0.045	0.700	0.862	-26.62	-1.53	1.95	KS
0.000*	-7.56	0.239	0.788	0.991	-33.33	-1.59	1.74	MK
0.000*	-14.24	0.631	0.907	0.992	-27.97	-1.18	1.21	P-T
0.053	2.17	0.950	0.989	0.993	2.73	0.24	0.45	FAO RD
0.000*	-6.24	0.690	0.907	0.994	-19.60	-0.98	1.11	TC
0.000*	-9.93	0.113	0.817	0.913	-44.02	-1.78	1.88	TW

ملاحظة: * تدل على وجود فروق معنوية.

الاستنتاج:

بناءً على النتائج المتحصل عليها يمكن استنتاج الآتي:

1- إن معادلة الفاو بلاني–كريدل هي أفضل المعادلات في الأداء مقارنةً بمعادلة الفاو بنمان–مونتيث في منطقتي الدراسة، حيث كانت في جميع المواقع باستثناء طرابلس في المرتبة الأولى من حيث قربها من معادلة الفاو بنمان–مونتيث،وذلك حسب المعايير الإحصائية التي تم إستخدامها باستثناء اختبار (t) الذي أظهر وجود فروق معنوية بين معادلة الفاو بلاني–كريدل ومعادلة الفاو بنمان–مونتيث في المنطقة الساحلية.

2- أن معادلتي خوسلا وثورنثويت أضعف المعادلات من حيث الأداء مقارنة بمعادلة الفاو بنمان–مونتيث وهذا يدل على عدم نجاح استخدام المعادلتين في المناطق

التي يسود فيها مناخ البحر المتوسط والمناطق الجبلية وبالتالي لا يوصي باستخدامهما في تلك المناطق.

3- عند إجراء اختبار (t) أظهرت النتائج وجود فروق معنوية بين معادلة الفاو بنمان–مونتيث وجميع المعادلات المستخدمة في بنغازي. كما بيَّنت نتائج اختبار (t) في سرت جود فروق معنوية بين معادلة الفاو بنمان–مونتيث وجميع المعادلات باستثناء معادلة بريستلي–تايلور. كذلك في طرابلس توجد فروق معنوية بين معادلة الفاو بنمان–مونتيث وجميع المعادلات باستثناء معادلة الإشعاع للفاو.

المراجع:

[1]- Allen, R. G.; L. S. Pereira; D. Raes and M. Smith (1998). Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper No. 56, United Nation Food and Agriculture Organization,* Rome, Italy, 300 pp.

[2]- Qiu, G.Y.; K. Miyamoto; S. Sase; Y. Gao; P. Shi and T. Yano (2002). Comparison of the Three-Temperature model and conventional models for estimating transpiration. *Japanese Agricultural Research Quarterly*. 36(2):73-82.

[3]- Brotzge, J. A. and K. Crawford (2003). Examination of the surface energy budget: A comparison of eddy correlation and Bowen ratio measurement systems. *Journal of Hydrometeorology* 4(2):160-179.

[4]- Payero, J. O.; C. M. U. Neal; J. L. Wright and R. G. Allen (2003). Guidelines for Validating Bowen Ratio Data. *Transactions of the ASAE* 46(4):1051-1060.

[5]- Irmak, S. ; A. Irmak; T. .A. Howell; D. L. Martin; J. O. Payero and K. S. Copeland (2008). Variability analyzes of alfalfa-reference to grass reference evapotranspiration ratios in growing and dormant seasons. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134(2): 147–159.

[6]–عواد، فوزي بن سعيد ومحمد بن إبراهيم السعود (2006). البخر–نتح للمحاصيل دليل تقدير الاحتياجات المائية. النشر العلمي والمطابع، جامعة الملك سعود، المملكة العربية السعودية.

[7]- Penman, H. L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. *Proceedings of the Royal Society of London*, A193:120-146.

[8]- Monteith, J. L. (1965). Evaporation and environment. 19th Symposia of the Society for Experimental Biology, 19:205-234. University Press: Cambridge.

[9]- Doorenbos, J. and W. O. Pruitt (1977). Guidelines for predicting crop water requirements. *Food and Agriculture Organization (FAO), Irrigation and Drainage Paper No. 24*. Food and Agriculture Organization of United Nations, Rome. pp.156.

[10]- Pereira, L. S.; R. G. Allen; M. Smith and D. Raes (2015). Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. *Agricultural Water Management*, 147: 4-20.

[11]- Pandey, P.K., P.P. Dabral, and V. Pandey (2016). Evaluation of Reference Evapotranspiration Methods for the Northeastern Region of India. *International Soil and Water Conservation Research*, 4(1):52-63.

[12]- Gao, F.; G. Feng; Y. Ouyang; H. Wang; D. Fisher; A. Adeli and J. Jenkins (2017). Evaluation of reference evapotranspiration methods in arid, semiarid and humid regions. *Journal of the American Water Resources Association*. 53(4):791-808.

[13]- Djaman, K.; A. B. Balde; A. Sow; B. Muller; S. Irmak; M. K. N'Diaye; B. Manneh and K. Saito (2015). Evaluation of sixteen reference evapotranspiration methods under Sahelian conditions in the Senegal River valley. *Journal of Hydrology*: Regional Studies, 3: 139-159.

[14]- Joshani, A.; J. K. Dastjerdi and H. Z. Abyaneh (2015). Evaluating Different Estimation methods of reference evapotranspiration with FAO Evaporation pan in both dry and Humid Climate of Caspian Sea Basin. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*. 4 (2) : 190-200.

[15]–مؤمن، محمد عبد الكريم وأسامة عبد الحميد عبد العاطي (2016). مقارنة لبعض الطرق الحسابية للبخر– النتح المرجعي بمنطقة شحات بالجبل الأخضر– ليبيا. جامعة عمر المختار، البيضاء، ليبيا. مجلة المختار للعلوم. 31(1): 1–16.

[16]- Thornthwaite, C. W. (1948). An approach towards a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38:55-94.

[17]- Blaney, H. F. and W. D. Criddle (1950). Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. *Soil Conservation Service Technical Paper 96*. Soil Conservation Service, U.S. Dept. of Agriculture: Washington, D.C.

[18]- 18.Makkink, G. F. (1957). Testing the Penman formula by means of lysimeters.

[30]- Joshani, A.; J. K. Dastjerdi and H. Z. Abyaneh (2015). Evaluating different estimation methods of reference evapotranspiration with FAO evaporation pan in both dry and humid climate of Caspian sea basin. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences,* 4 (2) : 190-200.

[31]- Mendonça, J. C.; E. F. Sousa; S. Bernardo; G. P. Dias and S. Grippa (2003). Comparison of different methods for estimating reference evapotranspiration (ETo) in North Fluminense RJ region. (in Portuguese) *Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering*. 7(2):275-279.

[32]- Mohawesh, O. E. (2011). Evaluation of evapotranspiration models for estimating daily reference evapotranspiration in arid and semiarid environments. *Plant Soil and Environment*, 57 (4):145–152.

[33]- Yoder, R. E.; L. O. Odhiambo and W. C. Wright (2005). Evaluation of methods for estimating daily reference crop evapotranspiration at a site in the humid southeast United States. *Applied Engineering in Agriculture*, 21(2):197–202.

[34]- Smith, M.; R. G. Allen; J. L. Monteith; L. S. Pereira; A. Perrier and W. O. Pruitt (1991). Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements. Land and Water Development Division, United Nations Food and Agriculture Service: Rome.

[35]- Ventura, F.; D. Spano; P. Duce and R. L. Snyder (1999). An evaluation of common Evapotranspiration equations. *Irrigation Sciences*. 18:163-170.

[36]- Allen, R. G. and G. Z. Li (2016). Ref-ET user's guide. Reference evapotranspiration calculation software for FAO and ASCE standardized equations; version 4.1 for Windows: University of Idaho, Kimberly Research and Extension Center ID, USA.

[37]- Jacovides, C. P. and H. Kontoyiannis (1995). Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration computing models. *Agricultural Water Management*, 27(3–4):365–371.

[38]- Kwon, H. and M. Choi (2011). Error assessment of climate variables for FAO-56 reference evapotranspiration. *Meteorology and Atmospheric Physics* 112(1–2):81–90.

[39]- Legates, D. R. and G. J. McCabe (1999). Evaluating the use of "goodness−of−fit" measures in hydrologic and hydroclimaticmodel validation. *Water Resources. Research.* 35(1): 233−241.

[40]- Sabziparvar, A. A. and H. Tabari (2010). Regional estimation of reference *Journal of the Institution of Water Engineering*, 11(3):277-288.

[19]- Turc, L. (1961). Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: A simple climatic formula evolved up to date. *Annales Agronomiques*, 12(1): 13-49.

[20]- Priestley, C. H. B and R. J. Taylor (1972). On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, 100(2): 81-92.

[21]- Hargreaves, G. H. and Z. A. Samani (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture,* 1(2):96-99.

[22]- Jensen, M. E.; R. D. Burman and R. G. Allen (1990). Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE Manuals and Reports of Engineering Practice No. 70. New York.

[23]- Amatya, D. M; R. W. Skaggs and J. D. Gregory (1995). Comparison of methods for estimating REF-ET. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 121(6):427-435.

[24]- Tabari, H.; M. E. Grismer and S. Trajkovic (2013). Comparative analysis of 31 references evapotranspiration methods under humid conditions. *Irrigation Science*, 31: 107-117.

[25]- Córdova, M.; G. Carrillo-Rojas; P. Crespo; B. Wilcox and R. Célleri (2015). Evaluation of the Penman–Monteith (FAO 56 PM) method for calculating reference evapotranspiration using limited data. *Mountain Research and Development*, 35(3):230-239.

[26]- Chen, D.; G. Gao; C. Y. Xu; J. Guo and G. Ren (2005). Comparison of the Thornthwaite method and pan data with the standard Penman–Monteith estimates of reference evapotranspiration in China. *Climate Research*, 28:123–132.

[27]- Chen, J.; H. Yeh; C. Lee and W. Lo (2005). Optimal comparison of empirical equation for estimating potential evapotranspiration in Taiwan. *IN*: XXXI IAHR Congress. September 11-16, Seoul, Korea.

[28]- Sentelhas, P. C.; T. J. Gillespie and E. A. Santos (2010). Evaluation of FAO Penman–Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. *Agricultural Water Management*, 97:635–644.

[29]- Gao, F.; G. Feng; Y. Ouyang; H. Wang; D. Fisher; A. Adeli and J. Jenkins (2017). Evaluation of reference evapotranspiration methods in arid, semiarid and humid regions. *Journal of the American Water Resources Association*, 53(4):791-808.

evapotranspiration in arid and semi-arid regions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. ASCE 136 (10), 724–731.

[41]- Sheikh, V. and M. Mohammadi (2013). Evaluation of reference evapotranspiration equations in semi-arid regions of northeast of Iran. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*,5 (5): 450-456.

[42]– الرجبو، وليد أسمير وخضر جاسم ومخلف شلال (2008). دراسة التبخر–نتح المرجعي في محافظة نينوى بإستخدام عدة نماذج رياضية. كلية التربية، جامعة الموصل. مجلة علوم الرافدين 19(3):154–173.

[43]– محمد، طه رؤوف شير (2008). التباين المكاني في الضياع المائي بواسطة عملية التبخر–نتح الممكن في العراق– دراسة نقدية مقارنة لإستخدام معادلتي ثورنثويت وخوسلا، جامعة بغداد. مجلة أبحاث البصرة (العلوم الإنسانية). 33(1):117–140.

[44]- Najafi, M; M. Salarian; S. Eslamian; K. Ostad-Ali-Askari; V. P. Singh and N. R. Dalezios (2019). Evaluation of Radiation Methods for Calculating the Water Requirement of Grass in Two Different Climates using REF-ET Software. *International Journal of Constructive Research in Civil Engineering* 5(1): 1-7.