



مجلة المختار للعلوم
مجلد (31)، العدد (01)، السنة (2016) 42-59
جامعة عمر المختار، البيضاء، ليبيا
رقم ايداع دار الكتب: 2013\280\ابنغازي

مقارنة لبعض الطرق الحسابية للبحر نتح المرجعي بمنطقة شحات بالجبل الأخضر - ليبيا

محمد عبدالكريم مؤمن^{*}، أسامة عبدالحميد عبدالعاطي

قسم التربة والمياه، كلية الزراعة، جامعة عمر المختار،

بريد إلكتروني: gebrilm@yahoo.com

DOI: <https://doi.org/10.54172/mjsc.v31i1.220>

المخلص

تم إجراء هذه الدراسة لمقارنة بعض من طرق حساب البحر نتح المرجعي مع طريقة الفاو بنمان مونتيت (FPM) التي تعتبر الطريقة المرجعية الموصى بها من قبل FAO لحساب البحر نتح المرجعي ETO. حيث تم اختيار سبعة طرق حسابية ثلاث منها تعتمد على درجة الحرارة وهي (بلاني - كريدل BC، هارريفز - سماني HS، ثورنويت TW)، وأربع تعتمد على الإشعاع وهي (الإشعاع Rd، برستلي - تايلور PT، ماكينك MK، تورك TC). تم استخدام البيانات المناخية لمدة 37 سنة للفترة من عام 1963 وحتى عام 1999 م لمحطة أرصاد شحات بالجبل الأخضر ليبيا. أظهرت نتائج هذه الدراسة أن طريقة بلاني - كريدل كانت الأفضل أداءً مقارنة بطريقة الفاو بنمان مونتيت (FPM)، حيث كانت قيم الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ (RMSE)، متوسط خطأ التحيز (MBE)، أكبر قيمة للخطأ (MAXE)، الخطأ النسبي (RE) هي 0.33، 0.11، 0.66 مم/يوم، -0.1% على التوالي. بينما كانت طريقة ثورنويت هي الأقل أداءً، حيث كانت قيم الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ (RMSE)، متوسط خطأ التحيز (MBE)، أكبر قيمة للخطأ (MAXE)، الخطأ النسبي (RE) هي 1.8، 1.69، 2.76 مم/يوم، -46.48% على التوالي. أما باقي الطرق فقد تراوح أدائها بين هذه القيم.

مفتاح الكلمات: البحر نتح المرجعي، درجة الحرارة، الإشعاع، الفاو بنمان مونتيت.

مقدمة

يعتبر البحر نتح أحد أهم مكونات الدورة الهيدرولوجية ولتقديره أهمية قصوى في العديد من دراسات التوازن المائي وتصميم وإدارة نظم الري والنماذج الخاصة بإنتاج المحاصيل وتخطيط وإدارة الموارد المائية. في العقود الخمسة الماضية تركزت العديد من الدراسات حول تطوير طرق جديدة أكثر دقة بالإضافة إلى تحسين الطرق

تاريخ الاستلام: مايو 21، 2015؛ تاريخ القبول: نوفمبر 01، 2015.

© للمؤلف (المؤلفون)، يخضع هذا المقال لسياسة الوصول المفتوح ويتم توزيعه بموجب شروط ترخيص إسناد المشاع الإبداعي CC BY-NC 4.0

السابقة لتقدير البخر نتح وذلك بسبب التطبيقات الواسعة لهذا المكون في عدة مجالات، ولا تزال الأبحاث مستمرة في هذا الاتجاه (Chowdhary و Shrivastava، 2010).

يعرف البخر نتح بأنه مصطلح يصف ما يفقد وما يستهلك من ماء بالبخر من سطح الأرض والأسطح المائية وأسطح أوراق النباتات بالإضافة إلى الماء الذي تمتصه جذور النباتات ويستهلك في بناء أنسجته ويمر خلال أوراقه إلى الغلاف الجوي في صورة نتح. يعرف البخر نتح المرجعي (ETO) بمعادلة الفاو بنمان مونثيث بأنه معدل البخر نتح من سطح نبات افتراضي بارتفاع 12 سم ومقاومة سطحية قدرها 70 ث/م ومعامل انعكاس قدره 0.23 ويمثل ذلك تقريباً البخر نتح من سطح ممتد من العشب الأخضر وبارتفاع منتظم ينمو بنشاط ولا يعاني من نقص في الرطوبة (Allen وآخرون، 1998).

يعتبر القياس المباشر للبخر نتح أمراً معقداً ويتطلب توفر أجهزة ومعدات خاصة ذات كلفة عالية إضافة إلى أنها تحتاج إلى فريق بحثي متمرس ذو خبرة جيدة، ولذلك هذه القياسات المباشرة غالباً لا تتم إلا في المراكز البحثية وعلى نطاق محدود، بسبب هذه الصعوبة حاول العديد من الباحثين وعلى مدى الخمسة عقود الماضية ربط العوامل المناخية بالبخر نتح وأدت تلك المحاولات إلى ظهور العديد من المعادلات التجريبية التي تم تقسيمها إلى ثلاثة أقسام: معادلات تعتمد على درجة الحرارة فقط ومعادلات تعتمد على الإشعاع والمعادلات المركبة.

ومن الجدير بالذكر أنه من ضمن هذه المحاولات أن العديد من الباحثين قد قام بتطوير تقنية جديدة تسمى الشبكات العصبية الاصطناعية (ANNs) لتقدير البخر نتح المرجعي نذكر منها على سبيل المثال لا الحصر (Zanetti وآخرون، 2007؛ Kumar وآخرون، 2002؛ Sudheer وآخرون، 2003؛ Chauhan و Shrivastava، 2010).

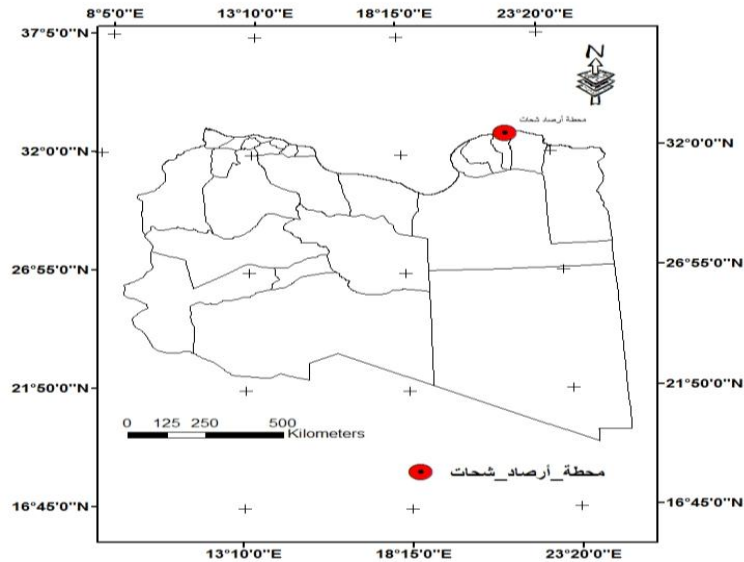
معادلة الفاو بنمان مونثيث (FPM) التي تعتبر مثلاً للمعادلات المركبة والتي أوصت للجنة الاستشارية لخبراء الري والصرف في مايو 1990 بتبني هذه المعادلة واعتبارها المعادلة القياسية لتعريف وحساب البخر نتح المرجعي (ETO) في العديد من المناطق المناخية المختلفة ولفترات زمنية قصيرة متى ما توفرت البيانات المطلوبة (Allen وآخرون، 1998). هذه المعادلة تحتاج إلى العديد من البيانات المناخية مثل درجة الحرارة والرطوبة النسبية والإشعاع الشمسي وسرعة الرياح والتي غالباً لا تكون متوفرة في أغلب محطات الأرصاد الجوية. وبالتالي فإن استخدام معادلات حساب البخر نتح المرجعي التي تحتاج إلى بعض البيانات المناخية يبدو أمراً مهماً.

بناءً على ذلك فإن الهدف من إجراء هذه الدراسة هو مقارنة أداء بعض معادلات حساب البخر نتح التي لا تحتاج إلى كثير من البيانات المناخية المقاسة مع طريقة الفاو بنمان مونثيث التي تم اعتمادها كطريقة مرجعية لحساب البخر نتح المرجعي.

المواد وطرائق العمل

البيانات المناخية

البيانات المناخية التي تم استخدامها في هذه الدراسة تم الحصول عليها من محطة أرصاد شحات الواقعة على خط طول $21^{\circ} 51'$ ودائرة عرض $32^{\circ} 49'$ والتي ترتفع عن سطح البحر بمقدار 621 متر، الشكل رقم (1) يوضح منطقة الدراسة. تتميز منطقة شحات بمناخ البحر المتوسط (حار جاف صيفاً دافئ ممطر شتاءً) والشهر الأكثر أمطاراً هو شهر يناير بقيمة 121.1 مم وأقل أشهر السنة أمطاراً هو شهر يوليو وبهطول قدره 0.5 مم أما مجموع الهطول السنوي فهو 557.4 مم، كما أن أكثر أشهر السنة برودة هو شهر يناير وبمتوسط درجة حرارة قدرها 9.5° م بينما الشهر الأكثر ارتفاعاً في درجة الحرارة هو شهر أغسطس وبمعدل درجة حرارة 23.26° م والمعدل العام لدرجة الحرارة يساوي 16.6° م. أما الرطوبة النسبية فقد سُجِلت أعلى قيمة لها في شهر يناير وكانت تساوي 77.46% بينما كان شهر يونيو هو أقل أشهر السنة في الرطوبة النسبية وبمعدل 53.46% والمعدل العام للرطوبة النسبية يساوي 67.79%. أما سرعة الرياح فقد سجل شهري ديسمبر وفبراير أعلى معدل لها وبقيمة 6.07 م/ث بينما كانت أقل قيمة لسرعة الرياح في شهر أغسطس وبقيمة 3.13 م/ث والمعدل العام لسرعة الرياح يساوي 4.69 م/ث. أما عدد ساعات السطوع فقد كانت أقل قيمة لها خلال شهر يناير وبمعدل 4.78 ساعة يومياً وأعلى معدل سجل خلال شهر يوليو وبقيمة 11.32 ساعة والمعدل العام لعدد ساعات السطوع يساوي 7.95 ساعة.



شكل 1. منطقة الدراسة

البيانات المناخية التي تم استخدامها في هذه الدراسة هي عبارة عن بيانات درجة الحرارة والرطوبة النسبية وسرعة الرياح وعدد ساعات السطوح الشمسي للفترة من عام 1963 م وحتى عام 1999 م (37 سنة) والجدول رقم (1) يوضح ملخص هذه البيانات. مع ملاحظة أن البيانات التي تم استخدامها في الحسابات هي بيانات كل سنة من السنوات المذكورة منفصلة على حده ثم إيجاد متوسط البحر نتح المرجعي المحسوب بكل طريقة من الطرق المستخدمة في هذه الدراسة.

جدول 1. ملخص البيانات المناخية لمنطقة الدراسة من عام 1963 وحتى عام 1999

الهبطول (مم)	السطوح الشمسي (ساعة / يوم)	متوسط الرطوبة النسبية (%)	سرعة الرياح م/ث	متوسط درجة الحرارة °م	درجة الحرارة الصغرى °م	درجة الحرارة العظمى °م	المتغير
121.1	4.78	77.46	5.81	9.5	6.43	12.56	يناير
83.6	5.72	73.41	6.07	10	6.46	13.54	فبراير
70.4	6.56	70.07	5.79	11.56	7.49	15.63	مارس
26.6	8.03	61.07	5.65	14.88	10.01	19.75	أبريل
7.9	9.66	55.32	4.44	18.69	13.34	24.04	مايو
1.8	11.09	53.46	3.73	22.33	16.93	27.73	يونيو
0.5	11.32	65.62	3.18	22.94	18.01	27.86	يوليو
1.3	10.79	69.27	3.13	23.26	18.52	27.99	أغسطس
10.3	8.84	69.05	3.32	21.6	17.08	26.12	سبتمبر
56.7	7.28	70.05	4.03	18.76	14.79	22.74	أكتوبر
67.9	6.14	73.45	5.02	14.52	10.92	18.12	نوفمبر
109.3	5.17	75.3	6.07	11.1	7.87	14.33	ديسمبر

المعادلات المستخدمة في الدراسة

1- معادلة الفاو بنمان- مونتيث (FPM)

تعتبر هذه المعادلة هي الطريقة القياسية والأدق في حساب البخر نتح المرجعي (Allen وآخرون 1998). حيث تأخذ في نظر الاعتبار الإشعاع والديناميكا الهوائية ولذلك تم استخدامها كطريقة مرجعية في هذه الدراسة كما تمت الإشارة إلى ذلك في المقدمة. وهذه المعادلة تأخذ الصيغة التالية:

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

حيث أن :

ET_o : البخر نتح المرجعي (مم/يوم)

R_n : صافي الإشعاع عند سطح المحصول (ميغا جول/م²/يوم)

G : تدفق حرارة التربة (ميغا جول/م²/يوم)

T : متوسط درجة الحرارة (م°)

U_2 : سرعة الرياح مقاسه عند ارتفاع 2 م من سطح الأرض (م/ثانية)

e_s : ضغط بخار الماء المشبع (كيلو باسكال)

e_a : ضغط بخار الماء الفعلي (كيلو باسكال)

$e_s - e_a$: العجز في ضغط البخار (كيلو باسكال)

Δ : انحدار منحني ضغط البخار (كيلو باسكال/م°)

γ : ثابت الرطوبة (كيلو باسكال/م°)

2- معادلة بريستلي- تايلور (PT) (Priestley و Taylor، 1972)

وجد (Priestley و Taylor، 1972) أن البخر نتح الفعلي حوالي 1.26 أكبر من البخر نتح الكامن ولذلك استبدلوا مصطلح الديناميكا الهوائية بقيمة ثابتة تساوي 1.26 وعليه فإن هذه المعادلة لا تحتاج إلا للإشعاع الشمسي الصافي ودرجة الحرارة وتأخذ هذه المعادلة الصيغة الآتية:

$$ET_o = 1.26 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} \quad (2)$$

Δ : انحدار منحني ضغط البخار (كيلو باسكال/م°)

γ : ثابت الرطوبة (كيلو باسكال/م°)

R_n : صافي الإشعاع عند سطح المحصول (ميغا جول/م²/يوم)

G : تدفق حرارة التربة (ميغا جول/م²/يوم)

λ : الحرارة الكامنة للتبخير (ميغا جول/كجم)

3- معادلة تورك (TC) (Turc، 1961)

اقترح (Turc، 1961) معادلة بسيطة لحساب البخار نتح تعتمد فقط على درجة الحرارة والإشعاع الشمسي والرطوبة النسبية. ذكر (Jensen و آخرون 1990) أن هذه الطريقة موثوقة تحت الظروف الرطبة والمعادلة هي كالتالي:

$$ET_o = 0.0133 \frac{T_m}{T_m + 15} (R_s + 50) \quad \text{if } RH > 50\% \quad (3)$$

$$ET_o = 0.0133 \frac{T_m}{T_m + 15} (R_s + 50) \left(1 + \frac{50 - RH}{70}\right) \quad \text{if } RH < 50\% \quad (4)$$

T_m : متوسط درجة الحرارة °م

R_s : الإشعاع الشمسي عند سطح المحصول (ميغا جول/م²/يوم)

RH: الرطوبة النسبية (%)

4- معادلة ماكينك (MK) (Makkink، 1957)

اقترح (Makkink، 1957) معادلة بسيطة لحساب البخار نتح تعتمد على درجة الحرارة والإشعاع تأخذ الصيغة الآتية:

$$ET_o = 0.61 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_s}{\lambda} - 0.12 \quad (5)$$

Δ : انحدار منحنى ضغط البخار (كيلو باسكال/م°)

γ : ثابت الرطوبة (كيلو باسكال/م°)

R_s : الإشعاع الشمسي عند سطح المحصول (ميغا جول/م²/يوم)

λ : الحرارة الكامنة للتبخير (ميغا جول/كجم)

5- معادلة هارقريفز - سماني (HS) (Hargreaves و Samani 1985)

قُدِّم (Hargreaves و Samani 1985) معادلة تعتمد على درجة الحرارة أخذت الشكل التالي:

$$ET_o = 0.0023 (T_{max} - T_{min})^{0.5} (T_{mean} + 17.8) R_a \quad (6)$$

T_{max} : درجة الحرارة العظمى °م

T_{min} : درجة الحرارة الصغرى °م

T_{mean} : متوسط درجة الحرارة °م

R_a : الإشعاع الشمسي الواصل إلى الغلاف الجوي (ميغا جول/م²/يوم)

6- معادلة بلاني- كريدل (BC) (Blaney و Criddle، 1962)

معادلة بلاني- كريدل واحدة من أبسط المعادلات التي كانت تستخدم على نطاق واسع قبل اعتماد معادلة بنمان مونثيث كمعادلة مرجعية لحساب البخر نتح وهذه المعادلة لا تحتاج إلا لدرجة الحرارة فقط وتأخذ الصيغة الآتية:

$$ET_o = a + b[P(0.46 T_{mean} + 8.13)] \quad (7)$$

T_{mean} : متوسط درجة الحرارة °م

P : النسبة المئوية لعدد الساعات المضيئة في الشهر بالنسبة لعدد ساعاتها في السنة

7- معادلة الإشعاع Radiation

قُدمت هذه المعادلة بواسطة (Doorenbos و Pruitt 1977) بالصيغة التالية:

$$ET_o = c (W \cdot R_s) \quad (8)$$

حيث:

c : معامل تصحيح يعتمد على متوسط الرطوبة النسبية وسرعة الرياح خلال النهار

W : معامل وزن يعتمد على درجة الحرارة وخط العرض

R_s : الإشعاع الشمسي عند سطح المحصول (مم/يوم)

8- معادلة ثورنثوايت (TW) (Thorntwaite، 1948)

قُدمت ثورنثوايت (1948، Thorntwaite) معادلة تعتمد على متوسط درجة الحرارة و ثابت يعتمد على مؤشر الحرارة للموقع المعين والصيغة العامة لهذه المعادلة كالتالي:

$$ET_o = 16 \left(\frac{10 T_i}{I} \right)^a \quad (9)$$

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

$$a = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.792 \times 10^{-2} I + 0.49239$$

حيث:

T_i : متوسط درجة حرارة °م

I : المؤشر الحراري للمنطقة خلال العام

a : معامل يتوقف على قيمة المؤشر الحراري

الجدول رقم (2) يوضح تصنيف المعادلات المذكورة أعلاه والبيانات المناخية المطلوبة لكل معادلة.

جدول 2. تصنيف المعادلات المستخدمة في الدراسة والبيانات المناخية المطلوبة لكل معادلة

الطريقة	تصنيف الطريقة	درجة الحرارة	الرطوبة النسبية	سرعة الرياح	الإشعاع الشمسي	تصنيف الطريقة	
						إشعاع	حرارة
الفاو بنمان-مونتيث FPM	✓	✓	+	+	+	+	+
بلاني - كريدل BC	✓		*	*	*		
هارقريفز - سماني HS	✓					+	
ثورنثويت TW	✓					+	
الإشعاع Rd	✓					+	
تورك TC	✓		*			+	
برستلي- تيلور PT	✓					+	
ماكيناك MK	✓					+	

+ : مفا : *

البرامج المستخدمة في الحسابات

تم استخدام برنامج REF-ET الذي تم تطويره بواسطة جامعة إيداهو بالولايات المتحدة النسخة 3.1.16 لحساب البحر نتح المرجعي بالطرق الستة الأولى ولمزيد من التفاصيل حول البرنامج المذكور يمكن مراجعة (Allen, 2000). ونظراً لأن هذا البرنامج لا يحتوي على طريقة ثورنثويت فقد تم استخدام برنامج آخر يسمى (Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI Package) النسخة 1.6 التي تعمل تحت البرنامج الإحصائي مفتوح المصدر R لحساب البحر نتح بهذه الطريقة. ولمزيد من التفاصيل حول (SPEI Package) يمكن الإطلاع على (Vicente-Serrano وآخرون، 2009) أما البرنامج الإحصائي R يمكن مراجعة الموقع الآتي: <http://www.cran.r-project.org>.

المعايير الإحصائية المستخدمة في تقييم الدراسة

لغرض تقييم نتائج هذه الدراسة إحصائياً فقد تم استخدام كلاً من الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ RMSE (مم/يوم)، متوسط خطأ التحيز MBE (مم/يوم)، أقصى خطأ MAXE (مم/يوم)، الخطأ النسبي RE (%)، معامل التحديد R^2 ، اختبار t كمعايير إحصائية، هذه المعايير موضحة بالمعادلات الآتية: (Kennedy و Neville, 1986).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (ET_{EQ} - ET_{FPM})^2}{n}} \quad (10)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (ET_{EQ} - ET_{FPM}) \quad (11)$$

$$MAXE = MAX(|ET_{EQ} - ET_{FPM}|)_{i=1}^n \quad (12)$$

$$RE = \frac{ET_{EQ} - ET_{FPM}}{ET_{FPM}} \times 100 \quad (13)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (ET_{EQ} - \overline{ET}_{EQ})(ET_{FPM} - \overline{ET}_{FPM})]^2}{\sum_{i=1}^n (ET_{EQ} - \overline{ET}_{EQ})^2 \sum_{i=1}^n (ET_{FPM} - \overline{ET}_{FPM})^2} \quad (14)$$

$$t = \sqrt{\frac{(n-1)MBE^2}{RMSE^2 - MBE^2}} \quad (15)$$

حيث:

ET_{EQ} : البخر نتج المحسوب بواسطة إحدى المعادلات المستخدمة في الدراسة

ET_{FPM} : البخر نتج المحسوب بواسطة الطريقة المرجعية (الفاو بنمان موننيث)

\overline{ET}_{FPM} : متوسط البخر نتج المحسوب بواسطة الطريقة المرجعية (الفاو بنمان موننيث)

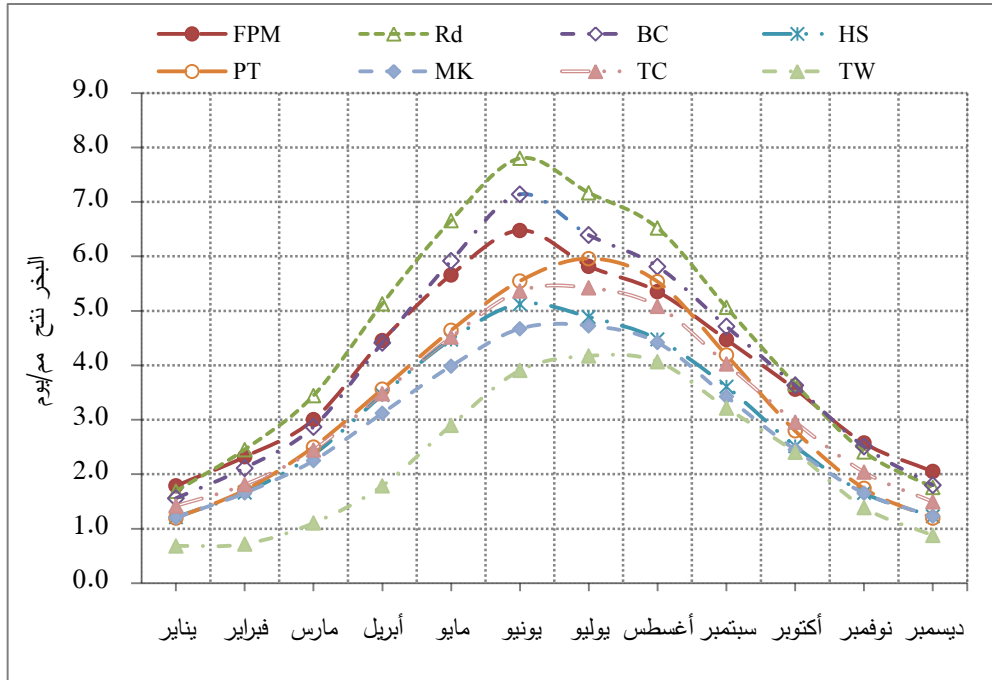
\overline{ET}_{EQ} : متوسط البخر نتج المحسوب بواسطة إحدى المعادلات المستخدمة في الدراسة

n : العدد الكلي للبيانات

حيث أن الطريقة الأفضل هي التي تعطي أقل قيمة $RMSE$ ، MBE ، $MAXE$ (مم/يوم)، RE (%). كما تشير الإشارة السالبة لقيم MBE ، RE إلى أن نتائج الطريقة المعنية أقل من الطريقة المرجعية. أما بالنسبة R^2 فإن قيمته تتراوح بين 0 و 1 حيث تعتبر الطريقة أفضل أداءً كلما اقتربت قيمة هذا المعامل من 1.

النتائج والمناقشة

يبين الشكل رقم (2) أن قيم البخر نتج بشكل عام تبدأ بقيم منخفضة خلال أشهر الشتاء ثم تبدأ في الارتفاع التدريجي خلال أشهر الصيف مع بداية الارتفاع في درجة الحرارة ويظهر ذلك بوضوح في الشكل المذكور ابتداءً من شهر أبريل



شكل 2. قيم البخار نتح (مم/يوم) المحسوبة بالطرق السبعة المستخدمة في الدراسة.

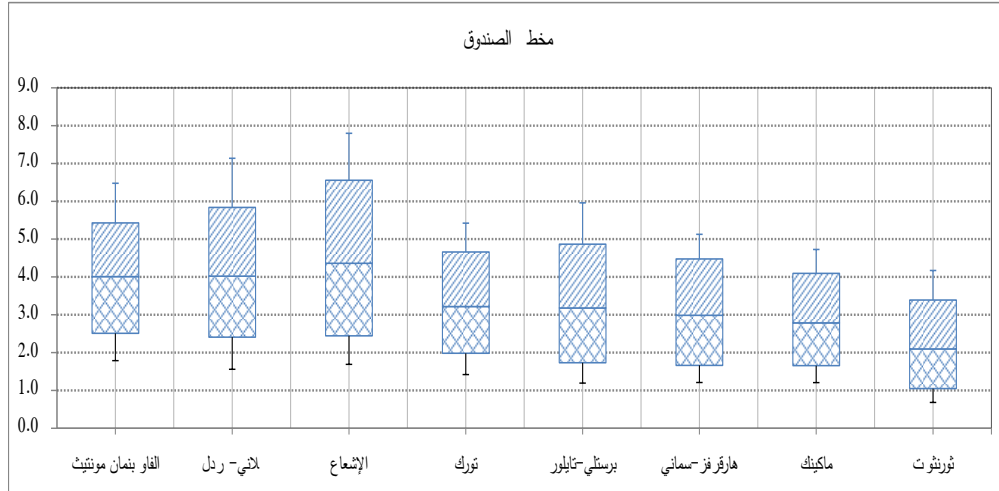
وحتى شهر يونيو الذي سجل أعلى قيمة للبخار نتح في أغلب الطرق المستخدمة في هذه الدراسة بعد ذلك يبدأ البخار نتح في التناقص التدريجي مع انخفاض درجة الحرارة. ونلاحظ أن هذا الاتجاه العام لقيم البخار نتح ينسجم مع قيم البيانات المناخية في الجدول رقم (1). حيث سجلت أشهر يونيو، يوليو، أغسطس أعلى قيم لدرجات الحرارة ولعدد ساعات السطوع الشمسي وأقل قيم للرطوبة النسبية الأمر الذي يؤدي إلى زيادة البخار نتح في حين أن أشهر ديسمبر ويناير وفبراير سجلت أقل قيم لدرجات الحرارة ولعدد ساعات السطوع الشمسي وأعلى قيم للرطوبة النسبية وبالتالي إنخفاض قيم البخار نتح.

من الشكل السابق نرى وبوضوح أن طريقة بلاني - كريدل كانت الأفضل مقارنة بطريقة FPM، مع ملاحظة أنها كانت أعلى قليلاً من FPM خاصة في أشهر الصيف حيث ترتفع درجة الحرارة. تليها طريقة الإشعاع التي كان أدائها جيداً أيضاً وقيم أعلى من FPM. أما بقية الطرق المستخدمة فقد كانت كلها أقل من قيم FPM ودرجات متفاوتة حيث كانت طريقة ثورنثويت هي الأقل أداءً من بين الطرق السبعة التي تم استخدامها.

ولمزيد من الإيضاح تم استخدام "مخطط الصندوق" (Boxplot) وهو عبارة عن نوع من التمثيل البياني الذي يمكن من خلاله دراسة توزيع سلسلة إحصائية حول وسيطها. ويعتمد هذا المخطط على خمسة قيم وهي: أصغر قيمة للبيانات $Min x$ ، الربع الأول $Q1$ ، الربع الثاني $Q2$ والذي يمثل الوسيط، الربع الثالث $Q3$ ، أكبر قيمة للبيانات $Max x$. حيث يتم رسم المخطط المذكور بواسطة تمثيل الخمسة قيم المذكورة بقطعة مستقيمة مدرجة أفقية أو عمودية بدايتها تمثل $Min x$ ونهايتها $Max x$ وتوضع عليها قيم $Q1$ ، الوسيط، $Q3$ ثم يرسم مستطيل طوله الانحراف الربيعي $Q1-Q3$ وعرضه اختياري. الشكل رقم (3) يوضح مخطط الصندوق للطرق المستخدمة في هذه الدراسة. من هذا الشكل نرى وبوضوح أن الوسيط الممثل بالخط الأفقي الذي يقسم الصندوق إلى نصفين متماثلين تقريباً يعني أن البيانات تتوزع طبيعياً وللتأكد من ذلك فقد تم إجراء اختبار شابيرو-ويلك (Shapiro-Wilk) حيث كانت نتيجة هذا الاختبار أن البيانات تتبع التوزيع الطبيعي والجدول رقم (3) يوضح ذلك. حيث نرى أن قيمة P -value كانت أكبر من قيمة مستوى المعنوية 0.05 لكل الطرق وهذا يعني أن البيانات تتبع التوزيع الطبيعي بمعنى أن الوسط يساوي تقريباً الوسيط ويساوي المنوال.

الشكل رقم (3) يوضح أيضاً مقارنة الطرق السبعة التي استخدمت في هذه الدراسة مع طريقة FPM. حيث نلاحظ من الشكل المذكور أن الطرق السبعة اختلفت في أدائها مقارنة بطريقة FPM مع عدم وجود لأي قيمة شاذة. كما نلاحظ أن الطريقة الأفضل هي التي تكون أقرب ما يمكن من طريقة الفاو بنمان مونتيتش من حيث قيم الوسيط والتشابه في حدود الصندوق وأقل وأكبر قيمة للبحر نتج.

وبناءً على ذلك فقد تم ترتيب الطرق من الأفضل أداءً إلى الأقل أداءً وذلك بالاعتماد على التمثيل البياني بواسطة هذا المخطط. وقد كان ترتيب الطرق كالتالي: بلاتي - كريدل، الإشعاع، تورك، برستلي - تابلور، هارقريفز - سماني، ماكينك، ثورنثويت. حيث كانت قيم الوسيط مساوية $4.01, 4.02, 4.36, 3.22, 3.18, 2.99, 2.79, 2.10$ مم/يوم.



شكل 3. مخطط الصندوق للطرق السبعة المستخدمة لحساب البخر نتح المرجعي

جدول 3. نتيجة اختبار شايبرو-ويلك للتوزيع الطبيعي

ثورنثويت	ماكينك	هارقرفز - سماني	برستلي- تايلور	تورك	الإشعاع	بلاني- كريدل	الفاو بنمان مونتيث	
0.891	0.905	0.903	0.909	0.907	0.916	0.932	0.929	W
0.121	0.185	0.175	0.208	0.195	0.256	0.402	0.375	p-value
0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	Alpha
نعم	نعم	نعم	نعم	نعم	نعم	نعم	نعم	Normal

W: اختبار شايبرو-ويلك

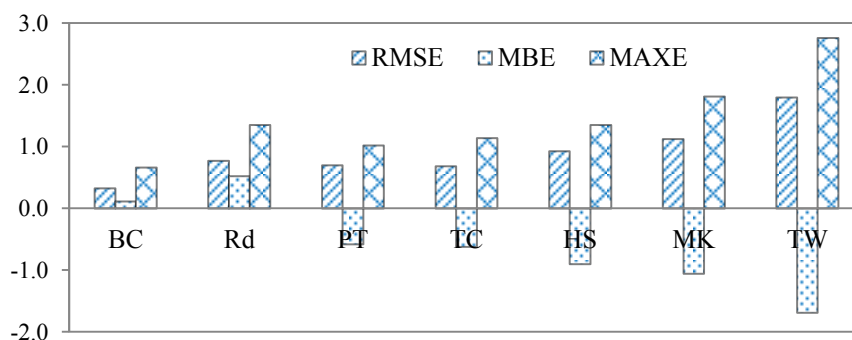
وبالنظر إلى نتائج التحليل الإحصائي المبينة في الجدول أدناه رقم (4) ، والشكل رقم (4) نجد أن هذه النتائج تتفق مع النتائج الموضحة في الأشكال رقم (2)،(3). حيث أن قيمة RMSE كانت الأقل عند استخدام طريقة بلاني- كريدل وبقية تساوي 0.33 مم/يوم كما أن أقصى قيمة للخطأ MAXE والخطأ النسبي RE كانتا 0.66 مم/يوم و-0.1% على التوالي. وهذه النتائج تتفق مع تلك التي تحصل عليها كلاً من (Fooladmand و 2009 Ahmadi؛ Mostafazadeh-Fard وآخرون، 2009) الذي قارن النتائج المتحصل عليها من لايسمتر ببعض طرق حساب البخر نتح ووجد أن طريقة بلاني- كريدل كانت الأفضل وذلك في ظروف

المناطق الجافة في إيران، أيضاً تحصل (Heydari وآخرون، 2013) على نفس النتائج في الدراسة التي قام بها شمال أصفهان.

جدول 4. نتائج التحليل الإحصائي للطرق المستخدمة في الدراسة

الطريقة	RMSE مم/يوم	MBE مم/يوم	MAXE مم/يوم	RE %	R ²	t	p-value
بلاني - كريدل	0.33	0.11	0.66	0.10-	0.997	1.205	0.254
الإشعاع	0.77	0.52	1.35	9.08	0.994	3.046	0.011
تورك	0.68	0.62-	1.14	17.25-	0.970	7.358	0.000
برستلي - تيلور	0.70	0.58-	1.02	18.7-	0.951	4.959	0.000
هارقريفز - سماني	0.93	0.9-	1.35	25.18-	0.990	13.888	0.000
ماكيناك	1.12	1.06-	1.81	28.31-	0.973	9.636	0.000
ثورثويت	1.8	1.69-	2.76	46.48-	0.857	9.205	0.000

RMSE: الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ، MBE: متوسط خطأ التحيز، MAXE: أكبر قيمة للخطأ، RE: الخطأ النسبي، R²: معامل التحديد.

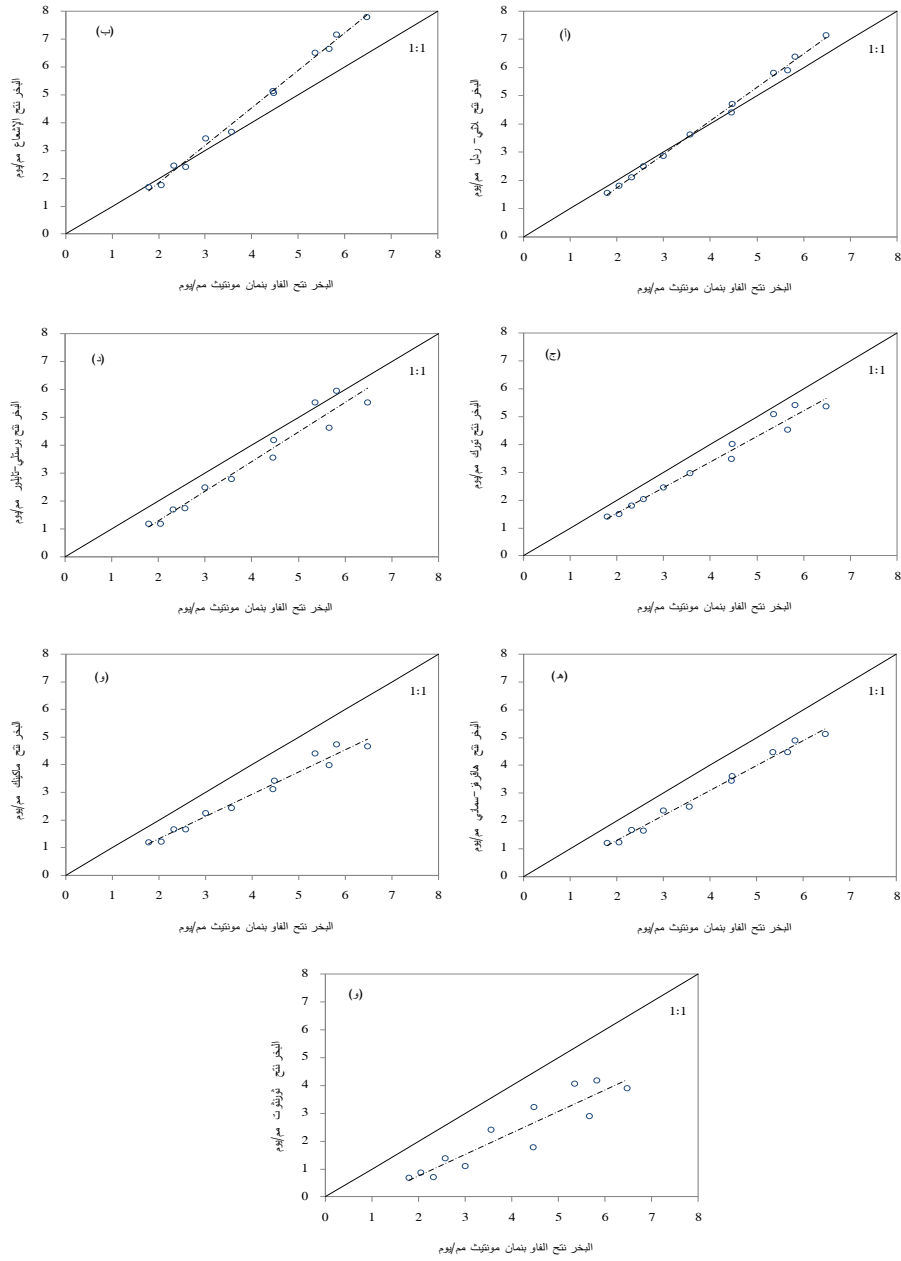


شكل 4. نتائج التحليل الإحصائي للطرق السبعة المستخدمة لحساب البخر نتج المرجعي

كما نلاحظ من الجدول (4) أن استخدام معياراً واحداً لا يكفي لتحديد الطريقة الأفضل. فإذا نظرنا إلى الطريقة التي تأتي في المرتبة الثانية نجد أنها طريقة الإشعاع مقارنةً بطريقة FPM على الرغم من أن RMSE لها كان مساوياً 0.77 مم/يوم وهو ليس الأقل بعد RMSE لبلاني - كريدل حيث كان RMSE لطريقة تورك 0.68 مم/يوم، ولكن

إذا ما أخذ في نظر الاعتبار MBE و RE نجد أن قيمتهما لطريقة الإشعاع كانتا 0.52 م/يوم و 9.08% على التوالي الأمر الذي يجعل هذه الطريقة في المرتبة الثانية من حيث الأداء. أما بالنسبة لباقي الطرق كانت نتائجها أقل من طريقة FPM وبدرجات متفاوتة. حيث كانت قيم RMSE و MAXE و RE 0.7 م/يوم، 1.02 م/يوم، -18.7% لطريقة برستلي- تايلور و 0.93 م/يوم، 1.35 م/يوم، -25.18% لطريقة هارقريفز-سماني و 1.12 م/يوم، 1.81 م/يوم، -28.31% لطريقة ماكينك. أما طريقة ثورنثويت الأقل أداءً، فقد كانت قيم RMSE و MAXE و RE 1.8 م/يوم، 2.76 م/يوم، -46.48% على التوالي، وهذه النتائج تتفق مع ما ذكره (Garcia وآخرون، 2004؛ Venkatesh وآخرون، 2012) من أن طريقة ثورنثويت كانت أقل من طريقة FPM خاصة في ظروف المناطق الجافة.

أيضاً نلاحظ من الجدول المذكور أن معامل التحديد كان مرتفعاً إلى حد ما بالرغم من ضعف أداء بعض الطرق الأمر الذي قد يؤدي إلى الوصول إلى نتائج غير دقيقة إذا ما تم استخدام مثل هذا المعيار الإحصائي بمفرده للفصل بين المقارنات المختلفة. والشكل رقم (5) (أ، ب، ج، د، هـ، و، ز) يظهر ذلك بوضوح. فعلى سبيل المثال معامل التحديد لطريقة ثورنثويت كان مساوياً 0.857 على الرغم من ضعف أداء هذه الطريقة فقد وصل الخطأ النسبي RE لها -46.48% والشكل رقم (5) (ز) يوضح ذلك، الأمر الذي استدعى البحث عن معايير إحصائية أخرى لتوضيح ذلك. حيث تم استخدام إختبار t لتحديد معنوية الفروقات بين الطرق المستخدمة وطريقة FPM. من الجدول رقم (4) نرى أن قيمة P-value كانت أكبر من مستوى المعنوية 0.05 بالنسبة لطريقة بلاني- كريدل وبناءً على ذلك لا توجد فروق معنوية بين هذه الطريقة وطريقة FPM، أما بقية الطرق الستة الأخرى فقد كانت الفروق معنوية.



شكل 5. العلاقة بين طريقة الفاو بنمان مونتيث والطرق السبعة المستخدمة في الدراسة (أ) طريقة بلاني-كريدل (ب) طريقة الإشعاع (ج) طريقة ترك (د) طريقة برستلي-تايلور (هـ) طريقة هارقريفز-سماني (و) طريقة ماكينك (ز) طريقة ثورنثويت.

الخلاصة

من خلال النتائج التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة يمكن الاعتماد على طريقة بلاني- كريدل في حساب البخار نتح المرجعي في منطقة شحات بالجبل الأخضر ليبيا. أيضاً الارتباط الوثيق بين نتائج بلاني- كريدل والفاو بنمان مونتيث يعكس وبوضوح أهمية درجة الحرارة والإشعاع الشمسي في عملية البخار نتح.

أظهرت أغلب الطرق التي تم استخدامها في هذه الدراسة تفاوتاً في أدائها مقارنة بطريقة الفاو بنمان مونتيث ولكن إذا ما تم الأخذ في نظر الاعتبار البيانات المناخية المطلوبة لكل طريقة والتي غالباً لا تكون متوفرة في كثير من المحطات المناخية خاصة تحت الظروف المحلية فإن هذه النتائج تعتبر مشجعة إذا ما تمت معايرة ثوابت هذه المعادلات محلياً.

المراجع

Allen, R. G. (2000). REF-ET: Reference Evapotranspiration calculation software for FAO and ASCE standardized equation. Version 3.1.16 for Windows. University of Idaho, Research and Extension Center, Kimberly, Idaho .

Allen, R. G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage, Paper No. 56, Rome, Italy.

Blaney, H. F. and W. D. Criddle. (1962). Determining consumptive use and irrigation water requirements. U. S. Dept. Agr. Agricultural Research Service Tech. Bull., 1275: 59.

Chauhan, S. and R. K. Shrivastava. (2009). Estimating reference evapotranspiration from limited climatic data using Artificial Neural Networks. ISH Journal of Hydraulic Engineering, 15: 34-44.

Chowdhary, A. and R. K. Shrivastava. (2010). Reference crop evapotranspiration estimation using Artificial Neural Networks. International Journal of Engineering Science and Technology, 9: 4205-4212.

Doorenbos, J. and W. O. Pruitt. (1977). Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage, Paper No. 24, Rome, Italy.

Fooladmand, H. R. and S. H. Ahmadi. (2009). Monthly spatial calibration of Blaney-Criddle equation for calculating monthly ETo in south of Iran. Irrigation and Drainage, 58: 234-245.

- Garcia, M., D. Raes, R. Allen and C. Herbas. (2004). Dynamics of reference evapotranspiration in the Bolivian highlands (Altiplano). *Agricultural and Forest Meteorology*, 125: 67-82.
- Hargreaves, G. H. and Z. A. Samani. (1985). Reference crop evapotranspiration from Temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1: 96-99.
- Heydari, M. M., R. N. Noushabadi, A. Abasi, M. Vahedi and M. Heydari. (2013). Comparison of evapotranspiration models for estimating reference evapotranspiration in arid environment. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 15: 1331-1337.
- Jensen, M. E., R. D. Burman and R. G., Allen. (1990). *Evapotranspiration of Irrigation water requirements*. ASCE manuals and Reports on Engineering practice No. 70 ASCE, New York, USA.
- Kennedy, J. B. and A. M. Neville. (1986). *Basic statistical methods for engineers and scientists*. 3rd Ed., Harper & Row, New York, USA.
- Kumar, M., N. Raghuvanshi, R. Singh, W. Wallender and W. O. Pruitt. (2002). Estimating evapotranspiration using Artificial Neural Network. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 128: 224-233.
- Makkink, G. F. (1957). Testing the Penman formula by means of Lysimeters. *Journal of the Institute of Water Engineering*, 11: 277-288.
- Mostafazadeh-Fard, B., M. Heidarpour and S. E. Hashemi. (2009). Species factor and evapotranspiration for an Ash (*Fraxinus rotundifolia*) and Cypress (*Cupressus arizonica*) in an arid region. *Australian Journal of Crop Science*, 3: 71-83.
- Priestley, C. H. B. and R. J. Taylor. (1972). On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. *Monthly Weather Reviews.*, 80: 81-92.
- Sudheer, K., A. Gosain and K. Ramasastry. (2003). Estimating actual evapotranspiration from limited climatic data using Neural Computing Technique. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 129: 214-218.
- Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38: 55-94.
- Turc, L. (1961). Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: A simple climatic formula evolved up to date. *Ann. Agronomy*, 12: 13-49.

Venkatesh, B., N. Neetha and K. Archana. (2012). Comparison of 10 potential evapotranspiration methods for different climatic regimes in Karnataka. International Journal of Earth Science and Engineering, 5: 851-857.

Vicente-Serrano, S. M., S. Beguería and J. I., Lopez-Moreno. (2009). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. Journal of Climate, 23: 1696-1718.

Zanetti, S., E. Sousa, V. Oliveira, F. Almeida and S. Bernardo. (2007). Estimating evapotranspiration using Artificial Neural Networks and minimum climatological data. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 133: 83-89.

Comparison of some methods for Reference Evapotranspiration calculation in Shahat Area, Aljabal Alakhdar- Libya

Mohamed A. MOMEN*, Osama A. ABDELATTI,

Omar Almokhtar University, Faculty of Agriculture, Soil and Water Department.

*E-mail, gebrilm@yahoo.com

Abstract

This study was conducted to compare some methods for calculating the reference evapotranspiration (ET_o) with FAO Penman-Monteith (FPM) which is the recommended method by the FAO to calculate the reference evapotranspiration. Seven methods were chosen, three of which depend on the temperature, namely, (Blaney-Criddle BC, Hargreaves- Samani HS, Thornthwaite TW), and four depend on the radiation (radiation Rd, Priestley-Taylor -PT, Makkink MK, Turc TC). Thirty seven years of climatic data for a period of 1963 to 1999 were used from meteorological station of Shahat, Aljabal Alakhdar, Libya. The obtained results showed that the method of Blaney-Criddle was the best performance compared to the FAO Penman Monteith (FPM), where the values of the root mean square error (RMSE), mean bias error (MBE), the maximum error (MAXE), and the relative errors (RE) were 0.33, 0.11, 0.66 mm/day, -0.1%, respectively, while the method of Thornthwaite was the least performance, where the values of the root mean square error (RMSE), mean bias error (MBE), the maximum error (MAXE), and the relative error (RE) were 1.8, 1.69, 2.76 mm/day, -46.48% respectively. The rest of the methods ranged between these values.

Keywords: Evapotranspiration, Temperature, Radiation, FAO Penman-Monteith.