

Evaluation the Methods for Estimating Daily Reference Evapotranspiration Using Pan Evaporation Class A in Syrian Coast

Dr. Ghatfan Ammar¹
Dr. Monzer Hammad²
Maria Abbas³

(Received 30 / 10 / 2018. Accepted 20 / 5 / 2019)

□ ABSTRACT □

Evapotranspiration is one of the components of the hydrological cycle. The accurate estimating of evapotranspiration affects the study of water balance, which in turn affects the efficiency of planning and management of water resources. The aim of this study is to evaluate methods for estimating daily reference evapotranspiration in Syrian Coast using pan evaporation class A. There for, seven methods (the formulas were suggested by Ammar and Hammad and Abbas, FAO-24, Cuenca, Snyder, Pereira, and Allen) were evaluated by comparing them results with the result from Penman-Monteith equation (FAO-56). The daily metrological data for the 16 Tishreen-dam and Al-Basil stations were used for assessment for the period from 2007 to 2013. The statistical criteria used for the assessment are: correlation coefficient (R), coefficient of determination (R^2), mean absolute error (MAE), root mean square error (RMSE), index of agreement(D), performance index (C). the study showed that the equation proposed by Ammar, Hammad and Abbas, which its inputs pan evaporation and extraterrestrial radiation, is the best for estimating daily reference evapotranspiration in Syrian Coast, with high agreement D (0.96), performance index C (0.89), RMSE (0.64mm / day) and R (0.925). Therefore, it is recommended to use this method to estimate daily reference evapotranspiration in Syrian coast, instead of complex equations which need information for many climatic elements that may be missing and unavailable.

Keywords: evapotranspiration, pan evaporation, evaluation.

¹ Professor, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. ghatfan62@gmail.com.

² Assistant Professor, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. mounzerhammad@gmail.com.

³ PhD student, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. maria.abbass1985@gmail.com

تقييم طرائق تقدير التبخر-نتح المرجعي اليومي باستخدام حوض التبخر نوع A في الساحل السوري

الدكتور غطفان عمار¹

الدكتور منذر حماد²

ماريا عباس³

(تاريخ الإيداع 30 / 10 / 2018. قُبِلَ للنشر في 20 / 5 / 2019)

□ ملخص □

يعتبر التبخر-نتح أحد مكونات الدورة الهيدرولوجية، ويؤثر التقدير الدقيق للتبخر-نتح في دراسة الموازنة المائية التي تؤثر بدورها على كفاءة التخطيط وإدارة الموارد المائية. يهدف هذا البحث إلى تقييم الطرائق المستخدمة في تقدير التبخر-نتح المرجعي اليومي باستخدام حوض التبخر نوع A في الساحل السوري. من أجل ذلك تم تقييم سبع طرائق متمثلة بـ (المعادلتين المقترحتين من قبل عمار وحماد وعباس، جداول FAO-24، معادلة Snyder، Pereira، و Allen)، وذلك من خلال مقارنة النتائج مع نتائج معادلة بنمان - مونتيث الموصى بها من قبل منظمة الأغذية والزراعة العالمية (FAO-56). وقد استخدمت للتقييم البيانات اليومية المناخية لمحطتي سد 16 تشرين وسد الباسل للفترة الممتدة من 2007 إلى 2013. وكانت المعايير الإحصائية المستخدمة: معامل الارتباط (R)، معامل التحديد (R^2)، معدل الخطأ المطلق (MAE)، جذر متوسط مربع الخطأ ($RMSE$)، معامل التوافق (D) ومعامل الأداء (C). بينت الدراسة أن المعادلة المقترحة من قبل عمار وحماد وعباس، والتي مدخلاتها التبخر الإنائي والإشعاع الشمسي الواصل إلى الغلاف الجوي الخارجي، هي الأفضل لتقدير التبخر-نتح المرجعي اليومي في الساحل السوري، بتوافق عالي (D) (0.96) وأداء ممتاز (C) (0.89)، حيث بلغت قيمة $RMSE$ (0.64mm/day) وقيمة R (0.925). لذلك يوصى باستخدامها لتقدير التبخر-نتح المرجعي اليومي في الساحل السوري بدلاً من معادلات معقدة تحتاج معلومات لعناصر مناخية كثيرة قد تكون مفقودة وغير متوفرة.

الكلمات المفتاحية: التبخر-نتح، التبخر الإنائي، تقييم.

¹ أستاذ - قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا. ghatfan62@gmail.com

² أستاذ مساعد - قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا. mounzerhammad@gmail.com

³ طالبة دكتوراه - قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا. maria.abbass1985@gmail.com

مقدمة

يستخدم مصطلح التبخر-نتح لوصف عمليتين لفقدان المياه من سطح الأرض إلى الغلاف الجوي هما التبخر والنتح. فالتبخر هو العملية التي يتم فيها تحويل المياه السائلة إلى بخار ماء من المسطحات المائية وسطح التربة والغطاء النباتي الرطب. بينما يمثل النتح تبخر الماء من داخل النبات وتحولها إلى بخار عن طريق الأوراق. وباعتبار أنه من غير الممكن الفصل بين هاتين العمليتين لذلك يُعبر عنهما بمصطلح التبخر-نتح. [1] [2]

يؤثر التقدير الدقيق للتبخر-نتح في دراسة التوازن المائي الذي يؤثر بدوره في كفاءة التخطيط وإدارة الموارد المائية، وهذه الفواقد يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار عند دراسة وتصميم مصادر المياه وأنظمة الري. [1] [3]

هناك عدة طرائق لتقدير التبخر-نتح المرجعي ET_0 ، إما بالطرائق المباشرة متمثلةً بجهاز الليزومتر. والطرائق غير المباشرة متمثلةً بالمعادلات الحسابية التي تعتمد على المتغيرات المناخية، ولكن المعادلة الموصى بها من قبل منظمة الأغذية والزراعة العالمية هي معادلة Penman-Monteith (FAO-56 PM). [2] [3]، والتي تتطلب العديد من المتغيرات المناخية (درجة الحرارة، الرطوبة النسبية، سرعة الرياح، الإشعاع الشمسي). قد لا تتوفر هذه المعطيات في العديد من المناطق، لذلك لابد من إيجاد طريقة بديلة تُقدّر التبخر-نتح المرجعي بدقة وموثوقية عالية. من أجل ذلك قام العديد من الباحثين بتقييم طرائق مختلفة لإيجاد بديل مناسب لمعادلة بنمان-مونتيث من أجل حساب التبخر-نتح المرجعي في حال عدم توافر جميع المعطيات اللازمة لتطبيقها. [4] [5] [6] [7]

تستخدم أحواض التبخر نوع A لتقدير التبخر-نتح المرجعي وذلك من خلال استخدام معادلات وضعية لتحويل التبخر الإنثائي إلى تبخر-نتح مرجعي. وقد طوّر العديد من الباحثين معادلات لتقدير معامل الحوض K_p بهدف تقدير التبخر-نتح المرجعي اعتماداً على التبخر الإنثائي E_{pan} ، منها المعادلة المُقدمة من قبل Cuneca (1989)، [8]، ومعادلة Snyder, R. L. عام 1992 [9]، ومعادلة Pereira et al. عام 1995 [10]، ومعادلة Allen, et al عام 1998 [2]. وقام باحثون آخرون بتقييم هذه الطرائق ومدى ملاءمتها للظروف المحلية. حيث عمل Grismer et al عام 2002 على تقييم الأداء النسبي لمعادلات الانحدار الخطية وغير الخطية (Cuenca 1989)، Allen & Pruitt 1991، Snyder 1992، Modified Snyder، Orang 1998، (Raghuwanshi & Wallender 1998) الأكثر استخداماً لتقدير معامل الحوض K_p ، اللازم لتقدير التبخر-نتح من بيانات التبخر الإنثائي. واستُخدم جدول FAO-24 كمعيار لمقارنة قيم K_p الناتجة عن المعادلات مع القيم الواردة لـ K_p في هذا الجدول، وذلك من خلال حساب المعاملات الإحصائية. وقد بينت النتائج أن معادلاتي Cuenca 1989، Allen & Pruitt 1991، على الرغم من أنهما لم تعطيا قيمة لـ K_p قريبة من قيم جدول FAO-24، إلا أنهما عندما تُستخدمان لتقدير ET_0 تُنتجان قيمة أقرب لقيم ET_0 المقيسة. [11]

استخدم Trajkovic, S. عام 2009 الشبكة العصبية ذات الأساس الشعاعي (RBF) لتحويل التبخر الإنثائي إلى التبخر-نتح المرجعي وذلك اعتماداً على قيم التبخر الإنثائي وقيم الإشعاع الشمسي المقابلة. من أجل ذلك تم تدريب شبكة RBF باستخدام البيانات اليومية من محطة Policoro (إيطاليا) في الفترة من 15 أيار 1981 إلى 23 كانون الأول 1983. تم التحقق من شبكة RBF (Radial Basis Function Network)، معادلة Christiansen، معادلة FAO-24 Pan، ومعادلة Penman Monteith FAO-56، من خلال مقارنة النتائج مع القياسات اليومية للتبخر-نتح من محصول العشب، باستخدام الليزومتر، وذلك في الفترة من 25 شباط إلى 18 كانون الأول 1984.

واستناداً إلى المعاملات الإحصائية، احتلت شبكة RBF المرتبة الأولى مع أقل قيمة لـ RMSE (0.433mm/day). إضافةً إلى أن استخدام شبكة RBF بسيط للغاية ولا يتطلب إلا شبكة RBF وبيانات التبخر الإنائى المقيسة (Epan) وبيانات الإشعاع الشمسي المقابلة. [12]

هدفت الدراسة التي قام بها Trajkovic, S and Kolakovic, S عام 2010 إلى تقييم موثوقية ثلاث طرائق تعتمد على قيم التبخر الإنائى في تقدير التبخر-نتح المرجعي والتي لا تتطلب بيانات للرطوبة النسبية وسرعة الرياح (FAO-24 pan, Ghare, Snyder (2005)). وتمت مقارنة نتائج هذه الطرائق مع قياسات الليزومتر اليومية للتبخر-نتح المرجعي لمحصول العشب في Policoro (إيطاليا)، واعتماداً على المؤشرات الإحصائية، كانت معادلة Snyder هي الأفضل مع أقل قيمة لجذر متوسط مربع الخطأ RMSE (0.449m/day). كما تم اختبار المعادلات السابقة بشكل إضافي اعتماداً على البيانات اليومية في Novi Sad و Serbia، وأعطت معادلة Snyder أفضل تطابق مع معادلة Penman-Monteith (FAO-56)، حيث بلغت قيمة RMSE (0.288m/day). بينت النتائج أن المعادلات التي تعتمد على التبخر الإنائى تُعتبر بديلاً ناجحاً لمعادلة Penman-Monteith (FAO-56) في تقدير التبخر-نتح المرجعي. وكانت معادلة Snyder هي الأفضل حيث تتطلب فقط بيانات التبخر الإنائى. [13]

كما قام Heydari, M. M. and Heydari, M. عام 2013 بمقارنة وتقييم سبعة معادلات (Cuenca 1989، Raghuwanshi & Orang 1998، Pereira et al. 1995، Snyder 1992، Allen & Pruitt 1991، Wallender 1998، Abdel_Wahed and Snyder 2008) لحساب معامل الحوض Kpan باستخدام قياسات التبخر الإنائى من فئة A لتقدير التبخر-نتح المرجعي خلال موسم زراعة المحاصيل الصيفية (من نيسان إلى تشرين الأول) في المنطقة الجافة في إيران. كانت طريقة Cuenca هي الأنسب مقارنةً مع منهجية بنمان-مونتيث لمنظمة الأغذية والزراعة FAO (FAO-56 PM). [14]

وقد بحث Khoob et al. عام 2013 في قدرة نموذج M5 Tree (يعتمد النموذج على شجرة القرار الثنائي التي لها وظائف الانحدار الخطي عند العقد الطرفية (الورقية))، والتي تطور علاقة بين المتغيرات المستقلة وغير المستقلة) لتحويل بيانات التبخر الإنائى إلى تبخر-نتح مرجعي في ظروف الجفاف في المناطق شبه القاحلة في إيران. تمت مقارنة نموذج M5 Tree مع معادلتين (Allen et al (1998) و Abedl-Wahed و Snyder (2008)). وقد استُخدمت البيانات المناخية الشهرية لثمان محطات مناخية في Khuzestan، كما استُخدمت طريقة Penman-Monteith الموصى بها من قبل منظمة الأغذية والزراعة كمعيار لتقييم النماذج. بينت الدراسة أن نمذجة التبخر-نتح المرجعي ممكنة من خلال استخدام نموذج M5 Tree (حيث بلغ متوسط RMSE 0.5mm/day) بالعلاقة مع التبخر الإنائى والرطوبة النسبية وسرعة الرياح وبيانات الإشعاع الشمسي الواصل إلى الغلاف الجوي الخارجي. كما بينت نتائج المقارنة أن نموذج M5 Tree يعمل بشكل جيد في تقدير التبخر-نتح المرجعي بالمقارنة مع الطريقة التقليدية التي تستخدم معادلات K_p . [15]

أهمية البحث وأهدافه

إن تقدير كمية المياه اللازمة للري والتي يحتاج إليها النبات يتطلب حساب التبخر-نتح، وهناك العديد من الطرائق المباشرة وغير المباشرة لتقدير قيمته، وتُعتبر طريقة التبخر الإنائى باستخدام معامل الحوض (K_p) إحدى هذه الطرائق

المعتمدة $(ET_0 = K_p * E_{pan})$ والتي أعطت نتائجاً جيدة. لذلك يهدف هذا البحث إلى تقييم سبع طرائق لتقدير التبخر-نتح المرجعي اليومي باستخدام حوض التبخر نوع A في الساحل السوري، متمثلةً بـ (نموذجي GEP المقترحين من قبل عمار وحماد وعباس، جداول FAO-24، معادلات Snyder، Cuenca، Pereira، Allen)، وذلك من خلال مقارنة النتائج مع نتائج معادلة Penman-Monteith (FAO-56).

منطقة البحث

تقع المنطقة الساحلية بين خطي عرض $34^\circ 34'$ / $35^\circ 75'$ / شمالاً وخطي طول $35^\circ 42'$ / $36^\circ 26'$ / شرقاً، والمساحة الكلية للمنطقة 5070 km^2 . يحدها من الشمال لواء اسكندرون ومن الجنوب لبنان وتمتد منطقة الدراسة بشكل موازي لشاطئ البحر بطول 120 km (عدا منطقة اسكندرون)، ويعرض وسطي 45 km ، ويتدرج الارتفاع من المنسوب (0) عند شاطئ البحر ويصل حتى ارتفاع 1350 m في المرتفعات الجبلية وبعض القمم إلى ارتفاع 1575 m . وهي محددة بالجزء المهشّر على الشكل رقم (1).



الشكل (1) منطقة الدراسة

طرائق البحث ومواده

استخدمت البيانات المناخية اليومية المتوافرة في محطتين من الساحل السوري وهما محطة سد 16 تشرين الواقعة شمال الساحل السوري على خط عرض $35^\circ 38'$ وارتفاع 127 m ومحطة سد الباسل الواقعة جنوب الساحل السوري على خط عرض $34^\circ 45'$ وارتفاع 141 m ، والمتضمنة البيانات المناخية اليومية من متوسط درجة الحرارة ومتوسط الرطوبة النسبية ومتوسط سرعة الرياح على ارتفاع مترين والسطوع الشمسي والتبخر الإثنائي من حوض التبخر نوع A للفترة الممتدة من 2007/10/1 إلى 2013/9/30.

اعتمدت طريقة (FAO-56 PM) الموصى بها من قبل منظمة الزراعة والأغذية العالمية (FAO) لحساب التبخر-نتح المرجعي اليومي في كلتا المحطتين. حيث تُعطى معادلة بنمان-مونتيث (FAO-56 PM) بالشكل التالي، [2]:

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 U_2)} \dots \dots \dots (1)$$

حيث:

ET_0 : التبخر-نتح المرجعي [mm/day].

R_n : صافي الإشعاع الشمسي المتبقي في النبات والتربة [$MJ/m^2 day$].

G : الانبعاث الحراري للتربة [$MJ/m^2 day$].

T : متوسط درجة حرارة الهواء [$^{\circ}C$].

U_2 : متوسط سرعة الرياح على ارتفاع 2m [m/sec].

e_s : متوسط ضغط بخار الإشباع [].

e_a : متوسط ضغط البخار الفعلي [].

Δ : ميل منحنى ضغط البخار [$kPa/^{\circ}C$].

γ : ثابت البسيكرومتر (ثابت مقياس الرطوبة) [$kPa/^{\circ}C$].

لأجل المقارنة والتقييم، تم حساب التبخر-نتح المرجعي اليومي باستخدام نموذجي GEP المقترحين من قبل عمار وحماد وعباس [16] والموضحين كما يلي:

1- النموذج الأول $GEP_{(E_{pan})}$:

$$ET_0 = \ln(E_{pan}^3 - 3.46 E_{pan}^2 + 2 E_{pan} + 6.02) \dots \dots \dots (2)$$

2- النموذج الثاني $GEP_{(E_{pan}, R_a)}$:

$$ET_0 = E_{pan} + \frac{E_{pan}^2}{6.05 - R_a} \dots \dots \dots (3)$$

وحُسب معامل الحوض K_p باستخدام عدة طرائق:

1- الطريقة الجدولية لمنظمة الأغذية والزراعة العالمية (FAO-24) (K_{p1}) . [1]

حيث يبين الجدول (1) قيم معامل الحوض K_p لحوض التبخر نوع A من أجل أبعاد مختلفة لتوضعه بالنسبة لمحصول العشب وقيم مختلفة للرطوبة النسبية وسرعة الرياح حسب منظمة الزراعة والأغذية العالمية (FAO-24).

الجدول (1): قيم معامل الحوض K_p لحوض التبخر نوع A من أجل أبعاد مختلفة لتوضعه بالنسبة لمحصول العشب وقي

مختلفة للرطوبة النسبية وسرعة الرياح حسب منظمة الزراعة والأغذية العالمية (FAO-24)

Class A Pan	مكان الحوض في المنطقة الجافة: Case B			
	متوسط الرطوبة %	<40	40-70	>70
سرعة الرياح / sec	مسافة ورود الرياح من الجهة الجافة (m)			
خفيفة <2	1	0.7	0.8	0.85
	10	0.6	0.7	0.8
	100	0.55	0.65	0.75
	1000	0.5	0.6	0.7
متوسطة 2-5	1	0.65	0.75	0.8
	10	0.55	0.65	0.7
	100	0.5	0.6	0.65

	1000	0.45	0.55	0.6
قوية 5-8	1	0.6	0.65	0.7
	10	0.5	0.55	0.65
	100	0.45	0.5	0.6
	1000	0.4	0.45	0.55
قوية جداً >8	1	0.5	0.6	0.65
	10	0.45	0.5	0.55
	100	0.4	0.45	0.5
	1000	0.35	0.4	0.45

2- طريقة Cuenca عام 1989 (K_{p2}): [8]

$$K_{p2} = 0.475 - 2.4 \times 10^{-4}U + 5.16 \times 10^{-3}H + 1.18 \times 10^{-3}F - 1.6 \times 10^{-5}H^2 - 1.01 \times 10^{-6}F^2 - 8 \times 10^{-9}H^2U - 1 \times 10^{-8}H^2F \dots \dots \dots (4)$$

3- طريقة Snyder عام 1992 (K_{p3}): [9]

$$K_{p3} = 0.482 + 0.024 \ln(F) - 0.000376 U + 0.004 \dots \dots \dots (5)$$

4- طريقة Pereira عام 1995 (K_{p4}): [10]

$$K_{p4} = 0.85 \frac{(\Delta + \gamma)}{[\Delta + \gamma(1 + 0.34U)]} \dots \dots \dots (6)$$

5- طريقة Allen عام 1998 (K_{p5}): [2]

$$K_{p5} = 0.108 - 0.0286 U + 0.0422 \ln(F) + 0.1434 \ln(H) - 0.000631[\ln(F)]^2 \ln(H) \dots \dots \dots (7)$$

حيث: H: الرطوبة النسبية %.

U: سرعة الرياح m/sec.

F: بعد الغطاء النباتي عن حوض التبخر (m) (في هذه الدراسة F=1000m).

كما تم حساب التبخر-نتح المرجعي اعتماداً على بيانات حوض التبخر نوع A، ومعامل الحوض المحسوب بالطرائق

المذكورة سابقاً ($ET_{0,Allen}$ ، $ET_{0,Pereira}$ ، $ET_{0,Snyder}$ ، $ET_{0,Cuenca}$ ، $ET_{0,FAO-24}$)، باستخدام المعادلة:

$$ET_0 = K_p \times E_{pan} \dots \dots \dots (8)$$

ولتقييم أداء طرائق تقدير التبخر-نتح المرجعي اليومي باستخدام بيانات التبخر الإنثائي اليومي، اعتمدت معايير

إحصائية مختلفة متمثلة بـ معامل الارتباط (R)، معامل التحديد (R^2)، معدل الخطأ المطلق (MAE)، جذر متوسط

مربع الخطأ ($RMSE$)، معامل التوافق (D)، معامل الأداء (C)، والمبينة معادلة كل منها فيما يأتي: [12][17][18]

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})]^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P}) \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})} \dots \dots \dots (9)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{n} \dots \dots \dots (10)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \dots \dots \dots (11)$$

$$D = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \dots \dots \dots (12)$$

$$C = D \times R \dots \dots \dots (13)$$

حيث: n: عدد القيم

O_i : قيم التبخر-نتح المرجعي المحسوب من معادلة بنمان- مونتيث (FAO-56 PM).
 P_i : قيم التبخر-نتح المرجعي المقدرة من الطرائق المذكورة أعلاه (نموذجي GEP، جداول FAO-24، Cuenca، Snyder، Pereira، Allen).
 \bar{O} : متوسط قيم التبخر-نتح المرجعي المحسوبة من معادلة بنمان- مونتيث (FAO-56 PM).
 \bar{P} : متوسط قيم التبخر-نتح المرجعي المقدرة من الطرائق المذكورة أعلاه (نموذجي GEP، جداول FAO-24، Snyder، Pereira، Allen، Cuenca).
 ويبين الجدول (2) قيم معامل الأداء ودلالته [17].

الجدول (2) قيم معامل الأداء C ودلالته

قيم معامل الأداء C	>0.85	0.84-	0.75-	0.65-	0.6-	0.5-	<=0.4
الأداء C	0.76	0.66	0.61	0.51	0.41		
دلالته	ممتاز	جيد جداً	جيد	متوسط	ضعيف	سيء	رديء

النتائج والمناقشة

تم حساب قيم ET_0 باستخدام معادلة Penman-Monteith، وقيم ET_0 اعتماداً على بيانات حوض التبخر نوع A، لمعادلتي GEP المقترحتين من قبل عمار وحمام وعباس ولكل معاملات حوض التبخر نوع A للطرائق المذكورة سابقاً ($ET_{0,Allen}$ ، $ET_{0,Pereira}$ ، $ET_{0,Snyder}$ ، $ET_{0,Cuenca}$ ، $ET_{0,FAO-24}$).
 تمت مقارنة الطرائق المذكورة سابقاً من خلال حساب المعاملات الإحصائية ($C, D, MAE, RMSE, R^2, R$) للعلاقة بين قيم ET_0 المحسوبة من FAO-56 PM وقيم ET_0 المحسوبة من الطرائق السابقة. يبين الجدول (3) قيم المعاملات الإحصائية المحسوبة.

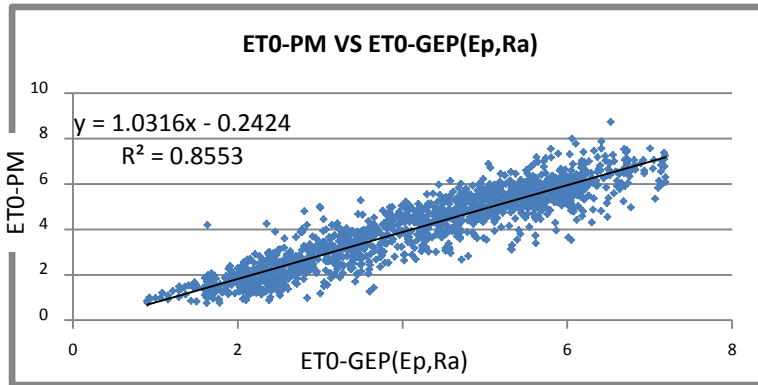
الجدول (3) قيم المعاملات الإحصائية للعلاقة بين قيم ET_0 المحسوبة من FAO-56 PM وقيم ET_0 المحسوبة من نموذج

$ET_{0,Allen}$	$ET_{0,Pereira}$	$ET_{0,Snyder}$	$ET_{0,Cuenca}$	$ET_{0,FAO-24}$	$ET_{0,GEP(E_{pan},R_a)}$	$ET_{0,GEP(E_{pan})}$	
0.86	0.84	0.86	0.87	0.83	0.925	0.88	R
0.736	0.704	0.748	0.761	0.687	0.855	0.778	R ²
0.96	0.95	1.5	1.12	1.25	0.64	0.793	RMSE
0.705	0.735	1.18	0.83	1.025	0.49	0.584	MAE

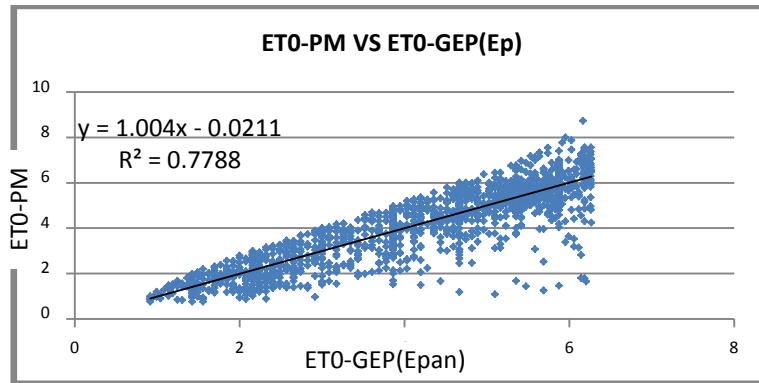
0.914	0.908	0.84	0.896	0.826	0.96	0.935	D
0.784	0.762	0.726	0.782	0.685	0.89	0.825	C

نلاحظ من الجدول (3) أن المعادلة المقترحة من قبل عمار وحماد وعباس، والتي تتضمن مُدخلاتها قيم التبخر الإنائى وقيم الإشعاع الشمسي الواصل إلى الغلاف الجوي الخارجي، هي المعادلة الأفضل بأعلى مصداقية D (0.96) وأداء ممتاز C (0.89)، حيث بلغت قيمة جذر متوسط مربع الخطأ RMSE (0.64mm/day) وقيمة معامل الارتباط R (0.925). يليها المعادلة المقترحة من قبل عمار وحماد وعباس والتي تتضمن مُدخلاتها قيم التبخر الإنائى فقط بمعامل مصداقية D (0.935) وأداء جيد جداً C (0.825) وقيمة جذر متوسط مربع الخطأ RMSE (0.79mm/day) وقيمة معامل الارتباط R (0.88)، ويمكن الاعتماد عليهما في الحساب. ويأتي نموذج Allen في المرتبة الثالثة بمعامل مصداقية D (0.914) وأداء جيد جداً C (0.784)، حيث بلغت قيمة جذر متوسط مربع الخطأ RMSE (0.96mm/day) وقيمة معامل الارتباط R (0.86). أما نموذج Pereira فيُعتبر النموذج الرابع في الدقة بمعامل مصداقية D (0.908) وأداء جيد جداً C (0.762)، وقيمة جذر متوسط مربع الخطأ RMSE (0.95mm/day) وقيمة معامل الارتباط R (0.84). وكانت طريقة جداول FAO-24 الأقل مصداقية D (0.826) وذات أداء جيد C (0.685) حيث بلغت قيمة جذر متوسط مربع الخطأ RMSE (1.25mm/day) وقيمة معامل الارتباط R (0.83). ويمكن تفسير ذلك بأن معادلتى Allen و Pereira (المستنتجة للمناطق الرطبة) هما الأنسب لمنطقة الدراسة (الساحل السوري)، مقارنة بالطرائق الثلاث الأخرى (FAO-24، Snyder، Cuenca).

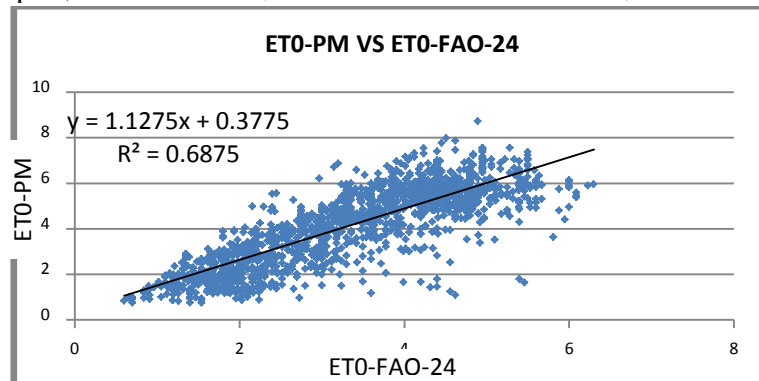
وتبين الأشكال (2)، (3)، (4)، (5)، (6)، (7)، (8) العلاقة بين قيم ET_0 المحسوبة من FAO-56 PM وقيم ET_0 المحسوبة من كل طريقة.



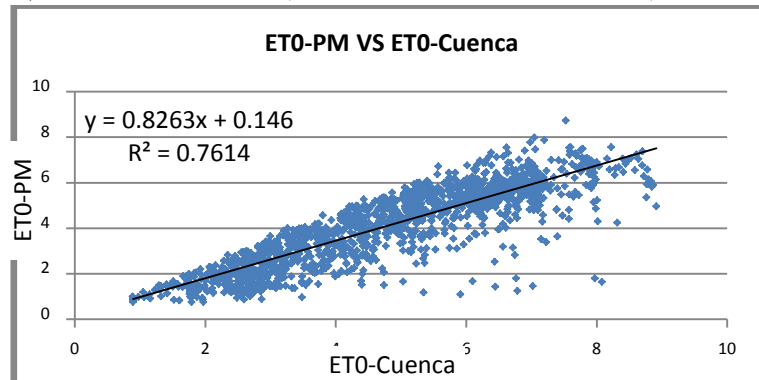
الشكل (2): العلاقة بين قيم ET_0 المحسوبة من FAO-56 PM وقيم ET_0 المحسوبة من $(GEP(E_{pan}, R_a))$



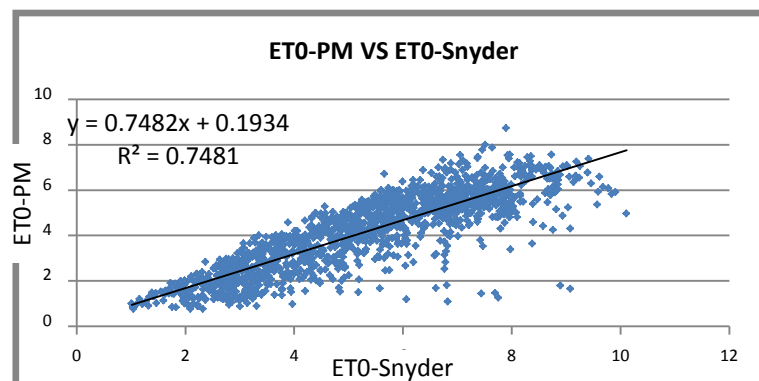
الشكل (3): العلاقة بين قيم ET_0 المحسوبة من FAO-56 PM وقيم ET_0 المحسوبة من $(GEP(Epan))$



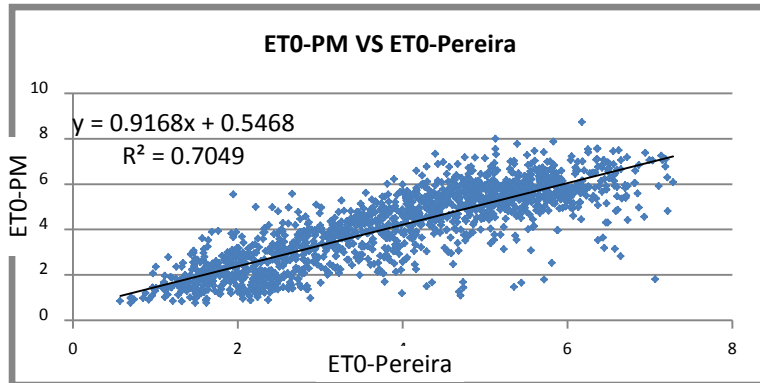
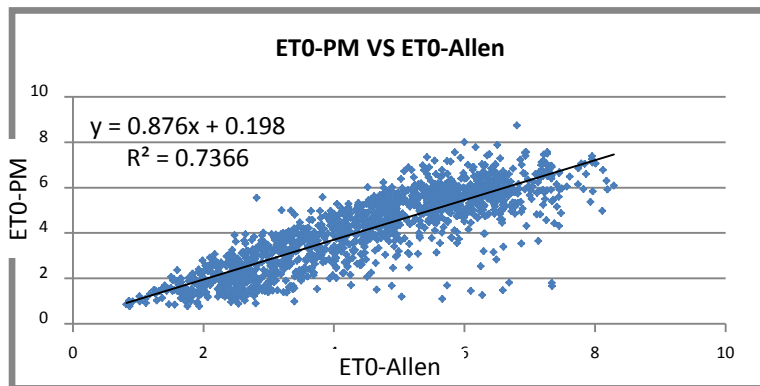
الشكل (4): العلاقة بين قيم ET_0 المحسوبة من FAO-56 PM وقيم ET_0 المحسوبة من جداول (FAO - 24)



الشكل (5): العلاقة بين قيم ET_0 المحسوبة من FAO-56 PM وقيم ET_0 المحسوبة من معادلة (Cuenca)



الشكل (6): العلاقة بين قيم ET_0 المحسوبة من FAO-56 PM وقيم ET_0 المحسوبة من معادلة (Snyder)

الشكل (7): العلاقة بين قيم ET_0 المحسوبة من FAO-56 PM وقيم ET_0 المحسوبة من معادلة (Pereira)الشكل (8): العلاقة بين قيم ET_0 المحسوبة من FAO-56 PM وقيم ET_0 المحسوبة من معادلة (Allen)

كما حُسِبَ المعدل اليومي للتبخر-نتح المرجعي بطريقة FAO-56 PM، لكل شهر خلال فترة الدراسة لمحطتي سد 16 تشرين وسد الباسل، وتمت مقارنته مع المعدلات اليومية لقيم التبخر-نتح المرجعي المحسوبة بالمعادلتين المقترحتين من قِبل عمار وحماد وعباس وطرائق (Allen, Pereira, Snyder, Cuenca, FAO-24)، وتبين الجداول (4) و (6) قيم المعدلات اليومية للتبخر-نتح المرجعي لكلا المحطتين والمحسوبة بالطرائق السابقة، بينما توضح الجداول (5) و (7) قيم الخطأ النسبي (كنسبة مئوية) الناتج عن الحساب بكل طريقة، مقارنةً مع نتائج معادلة بنمان-مونتيث.

الجدول (4): قيم المعدلات اليومية للتبخر-نتح المرجعي لمحطة سد 16 تشرين

ET_0 Allen	ET_0 Pereira	ET_0 Snyder	ET_0 Cuenca	ET_0 FAO - 24	ET_0 GEP(E_{pan} , R_a)	ET_0 GEP(E_{pan})	ET_0 FAO - 56 PM	
2.48	1.84	2.96	2.82	1.80	2.28	2.51	2.25	JAN
2.52	1.84	3.23	3.04	1.78	2.71	2.67	2.52	FEB
3.21	2.59	4.00	3.74	2.31	3.47	3.28	3.72	MAR
4.28	3.40	5.26	4.72	3.11	4.35	4.11	4.18	APR
5.31	4.50	6.29	5.75	3.82	5.26	4.91	5.17	MAY
6.44	5.57	7.66	7.00	4.63	6.16	5.76	6.22	JUN
6.37	5.45	7.72	6.99	4.67	6.06	5.67	5.76	JUL

5.85	5.11	7.00	6.34	4.33	5.46	5.33	5.37	AUG
4.29	3.75	5.05	4.62	3.13	4.16	4.07	4.59	SEP
3.74	3.33	4.28	4.00	2.70	3.46	3.54	4.05	OCT
2.87	2.37	3.42	3.17	2.03	2.47	2.72	2.49	NOV
3.01	2.30	3.63	3.39	2.18	2.03	2.94	2.07	DEC

الجدول (5): قيم الخطأ النسبي (%) الناتج عن الحساب بكل طريقة، مقارنة مع نتائج معادلة بنمان-مونثيث، لمحطة سد 16 تشرين

الخطأ النسبي Allen	الخطأ النسبي Pereira	الخطأ النسبي Snyder	الخطأ النسبي Cuenca	الخطأ النسبي FAO – 24	الخطأ النسبي GEP(E_{pan} , R_a)	الخطأ النسبي GEP(E_{pan})	
10.22	-18.22	31.56	25.33	-20	1.56	11.55	JAN
0	-26.98	28.17	20.63	-29.36	7.53	5.95	FEB
-13.71	-30.38	7.53	0.54	-37.9	-6.63	-11.83	MAR
2.39	-18.66	25.84	12.92	-25.6	4.17	-1.67	APR
2.71	-12.96	21.66	11.22	-26.11	1.64	-5.03	MAY
3.54	-10.45	23.15	12.54	-25.56	-0.99	-7.4	JUN
10.59	-5.38	34.03	21.35	-18.92	5.13	-1.56	JUL
8.94	-4.84	30.35	18.06	-19.37	1.76	-0.74	AUG
-6.53	-18.3	10.02	0.65	-31.81	-9.25	-11.33	SEP
-7.65	-17.78	5.68	-1.23	-33.33	-14.45	-12.59	OCT
15.26	-4.82	37.35	27.31	-18.47	-0.88	9.24	NOV
45.41	11.11	75.36	63.77	5.31	-2.22	42.03	DEC

الجدول (6): قيم المعدلات اليومية للتبخر-نتج المرجعي لمحطة سد الباسل

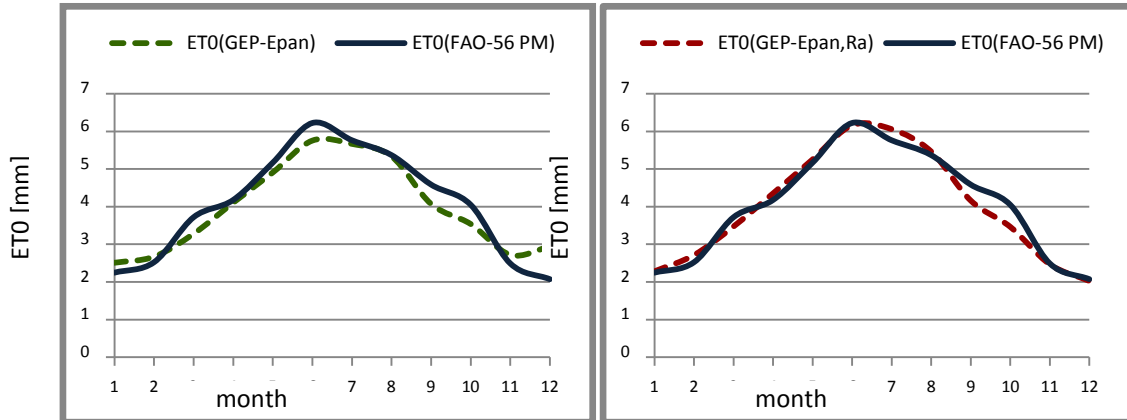
ET_0 Allen	ET_0 Pereira	ET_0 Snyder	ET_0 Cuenca	ET_0 FAO – 24	ET_0 GEP(E_{pan} , R_a)	ET_0 GEP(E_{pan})	ET_0 FAO – 56 PM	
2.22	1.74	2.71	2.50	1.65	2.01	2.10	1.88	JAN
2.64	2.12	3.15	2.86	1.96	2.5	2.42	2.28	FEB
3.23	2.68	3.79	3.50	2.35	3.3	3.02	3.16	MAR
3.82	3.26	4.47	4.11	2.87	3.95	3.61	3.84	APR
4.63	4.01	5.44	4.97	3.47	4.68	4.33	4.93	MAY
5.68	5.03	6.62	6.07	4.25	5.55	5.22	5.73	JUN
6.14	5.44	7.27	6.60	4.70	5.84	5.56	5.86	JUL
6.11	5.54	7.06	6.46	4.57	5.61	5.53	5.63	AUG
6.06	5.46	6.97	6.40	4.51	5.63	5.66	5.53	SEP
3.95	3.59	4.46	4.18	2.84	3.49	3.68	3.36	OCT
3.26	2.86	3.74	3.50	2.37	2.51	3.05	2.29	NOV
2.32	1.94	2.71	2.49	1.73	1.95	2.10	1.70	DEC

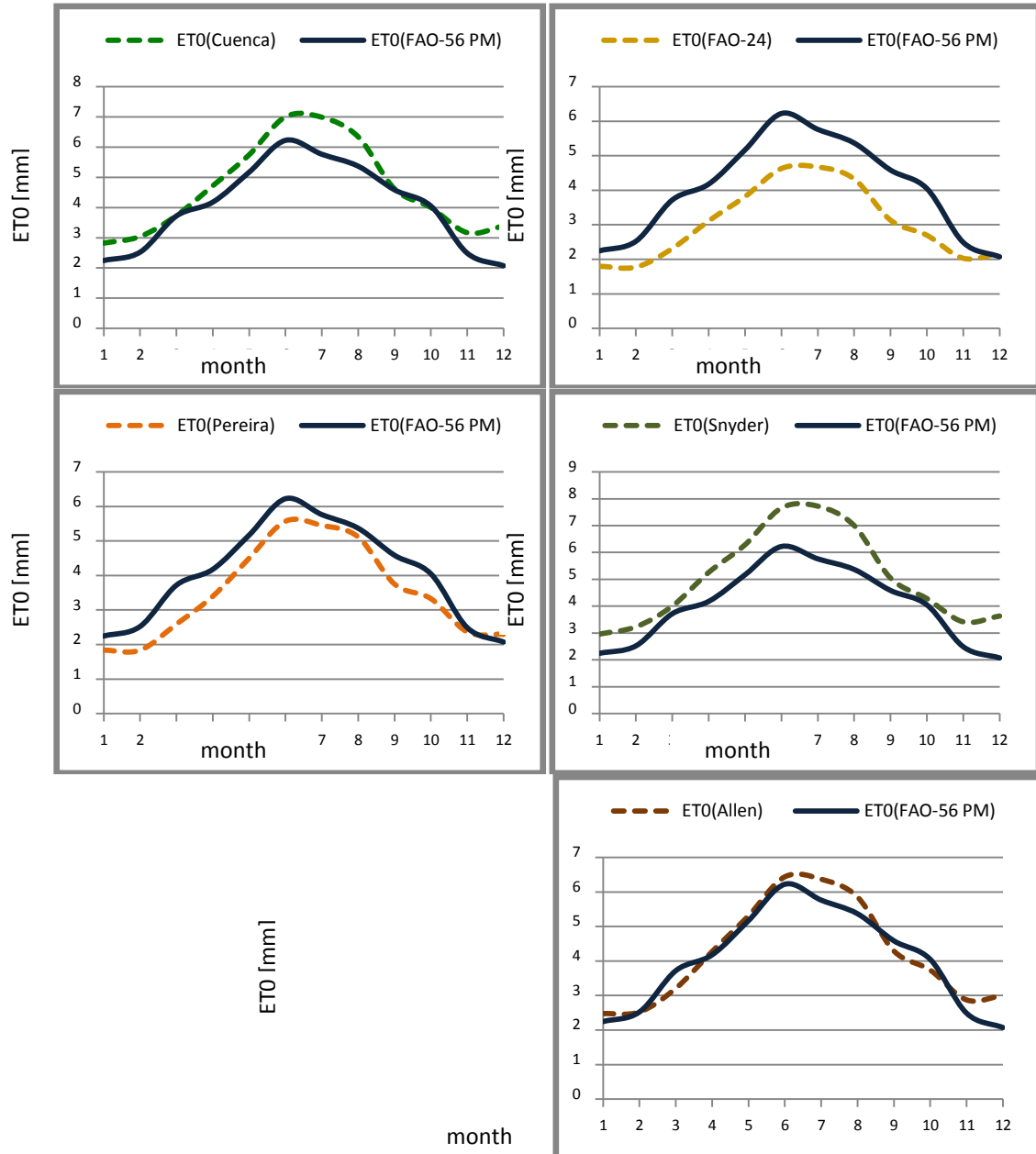
الجدول (7): قيم الخطأ النسبي (%) الناتج عن الحساب بكل طريقة، مقارنةً مع نتائج معادلة بنمان-مونتيث، لمحطة سد الباسل

الخطأ النسبي Allen	الخطأ النسبي Pereira	الخطأ النسبي Snyder	الخطأ النسبي Cuenca	الخطأ النسبي FAO – 24	الخطأ النسبي $GEP(E_{pan}, R_a)$	الخطأ النسبي $GEP(E_{pan})$	
18.08	-7.45	44.15	32.98	12.23	7.24	11.7	JAN
15.79	-7.02	38.16	25.44	-14.03	9.41	6.14	FEB
2.21	-15.19	19.94	10.76	-25.63	4.21	-4.43	MAR
-0.52	-15.1	16.41	7.03	-25.26	2.81	-5.99	APR
-6.08	-18.66	10.34	0.81	-29.6	-5.13	-12.17	MAY
-0.87	-12.22	15.53	5.93	-25.83	-3.22	-8.9	JUN
4.78	-7.17	24.06	12.63	-19.8	-0.26	-5.12	JUL
8.52	-1.6	25.4	14.74	-18.83	-0.42	-1.77	AUG
9.58	-1.26	26.04	15.73	-18.44	1.87	2.35	SEP
17.56	6.84	32.74	24.41	-15.47	3.81	9.52	OCT
42.36	24.9	63.32	52.84	3.49	9.6	33.18	NOV
36.47	14.12	59.41	46.47	1.76	14.7	23.53	DEC

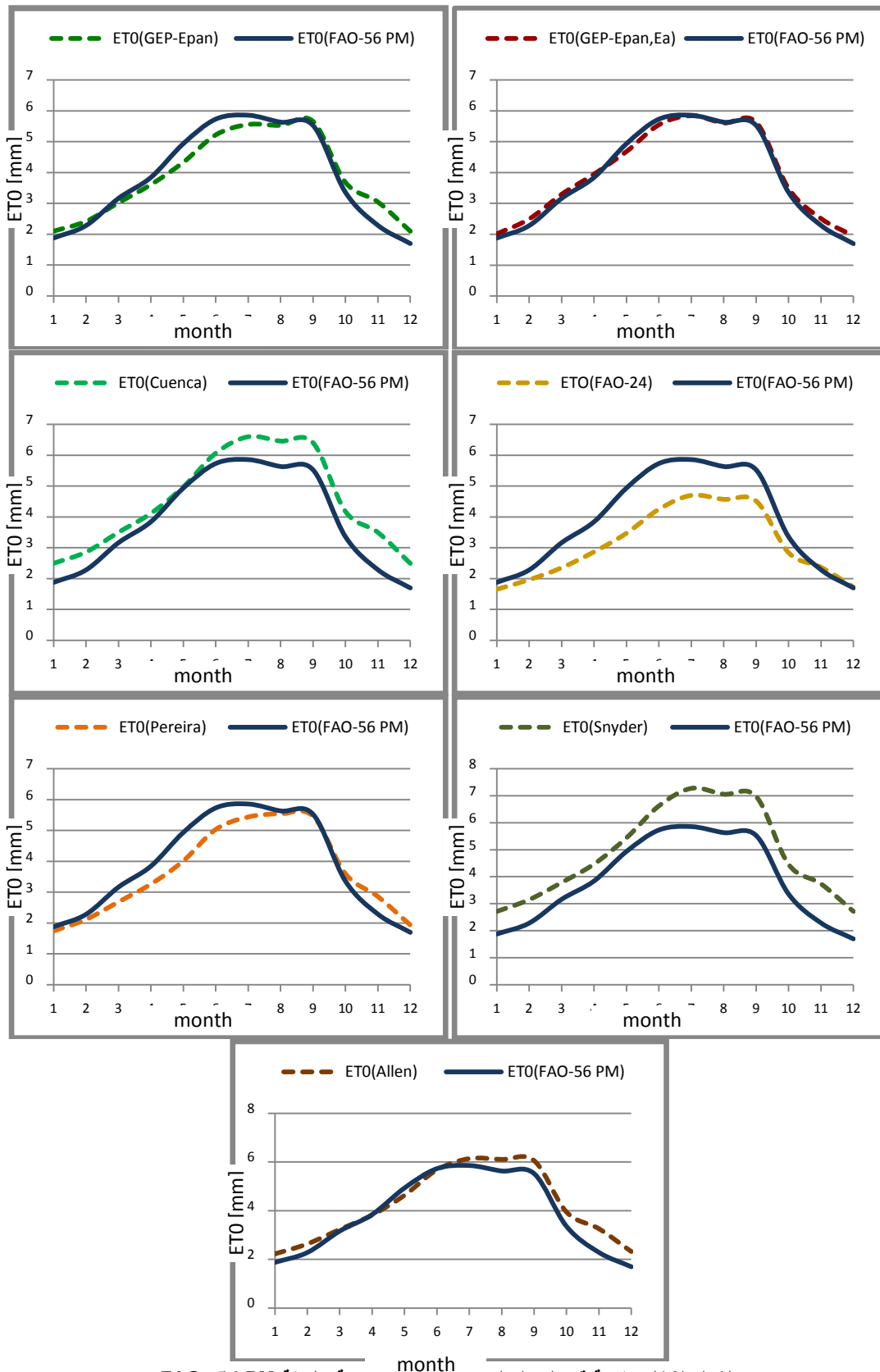
نلاحظ من الجداول السابقة أن نموذج ($GEP(E_{pan}, R_a)$) هو الأفضل في كلا المحطتين، و يعطي أقرب قيم لمعدلات التبخر-نتح المرجعي المحسوبة بطريقة FAO-56 PM. حيث لم تتجاوز قيمة الخطأ النسبي، القيمة المسموحة (20%). [2].

كما تُظهر الأشكال (9) و (10) مقارنة بين قيم المعدل اليومي لقيم ET_0 المحسوبة بطريقة FAO-56 PM و قيم المعدل اليومي لقيم ET_0 المحسوبة باستخدام نموذجي GEP وكل طريقة من الطرائق المذكورة أعلاه.





الشكل (9): مقارنة قيم المعدل اليومي لـ E_0 المحسوبة بطريقة FAO-56 PM وطرائق GEP، FAO-24، Cuenca، Snyder، Pereira، Allen لمحطة سد 16 تشرين



الشكل (10): مقارنة قيم المعدل اليومي E_0 المحسوبة بطريقة FAO-56 PM

وطرائق GEP ، FAO-24 ، Cuenca ، Snyder ، Pereira ، Allen لمحطة سد الباسل

يتبين مما سبق، أن نموذجي GEP يفدّران قيم التبخر-نتح المرجعي اليومي بالاعتماد على قيم التبخر الإنثائي اليومي، وقيم التبخر الإنثائي اليومي والإشعاع الشمسي R_a . أما باقي النماذج التي تمت المقارنة معها، فهي تُقدّر قيم التبخر-نتح المرجعي بالاعتماد على قيم التبخر الإنثائي وقيم معامل الحوض، الذي يتطلب حسابه معرفة الرطوبة النسبية وسرعة الرياح، اللتين يمكن ألا تتوافرا في العديد من المناطق.

بالتالي يمكن القول، أنه أصبح من الممكن تقدير التبخر-نتح المرجعي اليومي في منطقة الساحل السوري اعتماداً على بيانات التبخر الإنثائي اليومي والإشعاع الشمسي الواصل إلى الغلاف الجوي الخارجي أو التبخر الإنثائي فقط، بدلاً من البيانات المناخية الكثيرة اللازمة لتطبيق معادلة بنمان-مونتيث (FAO-56 PM)، أو حساب قيم معامل الحوض، والتي قد لا تكون متوفرة في أغلب الأحيان.

الاستنتاجات والتوصيات

- إمكانية تقدير التبخر-نتح المرجعي اليومي في منطقة الساحل السوري باستخدام معادلة GEP، المقترحة من قبل عمار وحماد وعباس، اعتماداً على بيانات التبخر الإنثائي اليومي وقيم الإشعاع الشمسي الواصل إلى الغلاف الجوي الخارجي R_a . بدلاً من استخدام معادلة بنمان-مونتيث (FAO-56 PM) التي تتطلب بيانات مناخية كثيرة لا تتوفر في معظم الأحيان.
- هناك تقارب كبير بين قيم ET_0 المحسوبة من FAO-56 PM وقيم ET_0 المحسوبة من نموذج GEP وهي ذات مصداقية عالية D (0.96)، وأداء ممتاز C (0.89)، حيث بلغت قيمة جذر متوسط مربع الخطأ RMSE (0.64mm/day) وقيمة معامل الارتباط R (0.925).
- إن طريقة جداول FAO-24 لتقدير معامل الحوض أعطت أقل مصداقية D (0.826) بأكبر قيمة لجذر متوسط مربع الخطأ RMSE (1.25mm/day). واعتماداً على نتائج البحث نوصي بما يلي:
- استخدام نموذج GEP المقدم من قبل عمار وحماد وعباس، والذي تتضمن مدخلاته R_a و E_{pan} ، لتقدير التبخر-نتح المرجعي اليومي في الساحل السوري بدلاً من معادلات معقدة تحتاج معلومات مناخية كثيرة قد لا تتوفر في معظم الأحيان.
- زيادة المحطات التي تتوفر فيها معلومات عن قيم التبخر من الحوض A.

المراجع

- [1] ALLEN, R. G. and PRUITT, W. O. *FAO-24 Reference Evapotranspiration Factors*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 117, No. 5, 1991, 758-773.
- [2] ALLEN et al. *Crop Evapotranspiration - Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage, Paper No. 56, Rome, 1998, 300.
- [3] YODER et al. *Evaluation of Methods for Estimating Daily Reference Evapotranspiration at a Site in the Humid south United States*. Applied Engineering in Agriculture, Vol. 21, No. 2, 2005, 197-202.
- [4] DJAMAN et al. *Evaluation of sixteen reference evapotranspiration methods under sahelian conditions in the Senegal River Valley*. Journal of Hydrology: Regional Studies, Vol. 3, 2015, 139-159.
- [5] PENG, L.; LI, Y. and FENG, H. *The best alternative for estimating reference crop Evapotranspiration in different sub-regions of mainland China*. Scientific Reports | 7: 5458 | DOI:10.1038/s41598-017-05660-y, 2017.
- [6] RACZ, C.; NAGY, J. and DOBOS, A. C. *Comparison of Several Methods for Calculation of Reference Evapotranspiration*. Acta Silv. Lign. Hung, Vol. 9, 2013, 9-24.
- [7] TRAJKOVIC, S and KOLAKOVIC, S. *Evaluation of Reference Evapotranspiration Equations Under Humid Conditions*. Water Resour Manage, 23, 2009, 3057-3067.
- [8] CUENCA, R. H. *Irrigation System Design: An Engineering Approach*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. 1989.
- [9] SNYDER, R. L. *Equation for Evaporation Pan to Evapotranspiration Conversions*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 118, No. 6, 1992, 977-980.
- [10] PEREIRA et al. *A model for the class A pan coefficient*. Agricultural and Forest Meteorology, 76, 1995, 75-82.
- [11] GRISMER, M. E.; ORANG, M.; SNYDER, R. and MATYAC, R. *Pan Evaporation to Reference Evapotranspiration Conversion Methods*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 128, No. 3, 2002, 180-184.
- [12] TRAJKOVIC, S. *Comparison of Radial Basis Function Networks and Empirical Equations for Converting from Pan Evaporation to Reference Evapotranspiration*. Hydrological Processes, 23, 2009, 874-880.
- [13] TRAJKOVIC, S and KOLAKOVIC, S. *Comparison of Simplified Pan-Based Equations for Estimating Reference Evapotranspiration*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 136, No. 2, 2010, 137-140.
- [14] HEYDARI, M. M. and HEYDARI, M. *Evaluation of Pan Coefficient Equations for Estimating Reference Crop Evapotranspiration in the Arid Region*. Archives of Agronomy and Soil Science, Vol. 60, No. 5, 2014, 715-731.
- [15] KHOOB, A; ASADI, M. and MASHAL, M. *A Comparison Between Conventional and M5 Model Tree Methods for Converting Pan Evaporation to Reference Evapotranspiration for Semi-Arid Region*. Water Resour Manage, 27, 2013, 4815-4826.
- [16] عمار، غطفان؛ حماد، منذر؛ عباس، ماريان. *تقدير التبخر-نتح المرجعي اليومي في الساحل السوري باستخدام برمجة التعبير الجيني*. مجلة جامعة البعث للعلوم الهندسية. المجلد (40)، 2018.

[17] DE SOUZA, A. P.; ARANTES, K. R.; DE ALMEIDA, F. T.; PAULINO, J.; TANAKA, A. A. and DA SILVA, J. O. *Class "A" Pan Coefficients (Kp) to Estimate Daily Reference Evapotranspiration (ET₀) in Transitional Amazon-Cerrado Forest, Brazil. II* INOVAGRI International Meeting, <http://dx.doi.org/10.12702/ii.inovagri.2014-a290>, 2014, 2146-2156.

[18] JOSHANI, A.; DASTJERDI, J. K. and ABYANEH, H. Z. *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, Vol. 4 (2), 2015, 190-200.