مجلة جامعة مصراتة للعلوم الزراعية
Journal of Misurata University for Agricultural Sciences
المجلد الخامس العدد الأول يونيو 2024
ISSN 2708-8588

استخدام نظام الاستدلال الضبابي لتقدير البخر نتح المرجعي بمنطقة شحات في ليبيا

أسامة عبدالحميد عبدالعاطي محمد عبدالكريم مؤمن
قسم التربة والمياه، كلية الزراعة،جامعة عمر المختار، البيضاء، ليبيا
Osama.abdelhamed@omu.edu.ly

استلم البحث بتاريخ 2024/01/23م اجيز البحث بتاريخ 2024/6/22 نشر البحث بتاريخ 2024/7/7

الملخص

أجريت هذه الدراسة لتقدير البخر نتح المرجعي (ET_o) لمنطقة شحات في ليبيا باستخدام نظام الاستدلال الضبابي (Fuzzy Inference System (FIS مقارنة بالنتائج المحسوبة بمعادلة منظمة الأغذية والزراعة الفاو بنمان–مونتيث (FAO Penman-Monteith M56). تم استخدام البيانات المناخية لمحطة أرصاد شحات للفترة من 1963 إلى 1999، حيث تم استخدام ستة نماذج FIS مختلفة من متغيرات الأرصاد الجوية المتاحة، مثل متوسط درجة حرارة الهواء (T_{mean})، ومتوسط الرطوبة النسبية (RH_{mean})، والإشعاع الشمسي الساقط فوق الغلاف الجوي (R_a)، هذا الأخير يتم حسابه كدالة للموقع والوقت خلال العام. تم تدريب نموذج (FIS) باستخدام 70% من البيانات المناخية واختباره باستخدام 30% المتبقية. أظهرت المؤشرات الإحصائية التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة أن قيمة الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ تراوحت بين 0.25 (مم.يوم$^{-1}$) لنموذج متوسط درجة حرارة الهواء (T_{mean})، ومتوسط الرطوبة النسبية (RH_{mean})، والإشعاع الشمسي الساقط فوق الغلاف الجوي (R_a) و1.42 (مم.يوم$^{-1}$) لنموذج متوسط درجة حرارة الهواء (T_{mean}) فقط، أما معامل التحديد فقد كانت قيمته 0.98 و 0.66 في الحالتين على التوالي خلال فترة الاختبار. ولذلك، تمثل نماذج (FIS) خيارًا جيداً لتقدير ET_o، خاصةً عندما تكون البيانات المناخية نادرة.

الكلمات المفتاحية: *البخر نتح المرجعي–معادلة بنمان مونتيث–نظام الاستدلال الضبابي*

1. المقدمة

يعرف البخر النتح (ET) بأنه فقد الماء إلى الغلاف الجوي عن طريق عمليتي النتح من النبات والبخر من سطح التربة، ويعتبر مكونًا هيدرولوجيًا أساسيًا للإدارة المستدامة والفعالة لموارد المياه الزراعية، وجدولة الري المثلى، والتوازن المائي الهيدرولوجي وتخطيط وإدارة موارد المياه، خاصةً في المناطق التي تواجه ندرة المياه (Huang et al. 2019, Wu *et al.* 2019, Yamaç and Todorovic 2020).

يطلق اصطلاح البخر نتح المرجعي (ET_o) على مقدار البخر نتح من سطح مرجعي من محصول عشبي افتراضي يبلغ ارتفاعه 0.12 مترًا، ومقاومته السطحية ثابتة مقدارها 70 ث.م$^{-1}$ والإشعاع المنعكس من سطح أوراقه (Albedo) يساوي 0.23، هذا السطح يشبه إلى حد كبير سطحًا واسعًا من العشب الأخضر المروي جيدًا بارتفاع موحد، وينمو بشكل نشط ويظلل الأرض تمامًا (Allen *et al.* 1998).

يقاس البخر نتح المرجعي (ET_o) بتقنيات ومبادئ فيزيائية معقدة نسبيًا (Allen *et al.* 2011)، والطريقة الأكثر دقة لقياسه هي الطريقة المباشرة عن طريق توازن الماء في التربة باستخدام أجهزة تسمى اللايزيميترات، إلا أن هذه الأجهزة تطبيقاتها مقيدةٍ إلى حد كبير بسبب ارتفاع التكاليف والتعقيدات التقنية خاصةً في البلدان النامية، ولذلك أصبحت النماذج الرياضية الفيزيائية التي تعتمد على المتغيرات المناخية المقاسة في محطات الأرصاد الجوية، بديلاً عمليًا لتقدير ET_o. أوصت منظمة الأغذية والزراعة (FAO) التابعة للأمم المتحدة، باستخدام معادلة الفاو بنمان–مونتيث والتي يشار إليها فيما بعد (FPM56)، باعتبارها الطريقة القياسية الوحيدة لتعريف وحساب البخر نتح المرجعي (Allen et al.

1998). هذه المعادلة FPM56 تتطلب مجموعة من المتغيرات المناخية المقاسة مثل درجة حرارة الهواء والرطوبة النسبية وسرعة الرياح والإشعاع، التي لا تتوفر في كثير من الأحيان بسبب قلة عدد محطات الأرصاد الجوية في العديد من المناطق، وعندما تكون متوفرة فإنها قد تحتوي على بيانات غير كافية.

هناك العديد من الأبحاث التي تم إجراؤها في السنوات الأخيرة تركزت على تقدير الظواهر الطبيعية والتنبؤ بها، بما في ذلك تقدير ET_o باستخدام نماذج التعلم الآلي (Machine Learning) (ML) ، على سبيل المثال، الشبكات العصبية الاصطناعية (Artificial Neural Network) (ANN) ، ونظام الاستدلال الضبابي (Fuzzy Inference System) (FIS) ، والبرمجة الجينية (Genetic Programming) (GP) ، وخطوط الانحدار التكيفي متعددة المتغيرات (Multivariate Adaptive Regression Splines) (MARS)، وشجرة القرار (Decision Tree) (DT)، والغابات العشوائية (Random Forests) (RFs)، وآلة المتجهة الداعم (Support Vector Machine) (SVM)، وآلة التعلم المتطرف (Extreme Learning Machine) (EML) ، ونظام الاستدلال العصبي الضبابي المكيف (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems)،(ANFIS) (Adeloye et al. 2012, Ekhmaj 2012, Ekhmaj et al. 2013, Adamala et al. 2019, Chia et al. 2020, Liu et al. 2022, Egipto et al. 2023, Raza et al. 2023, Spontoni et al. 2023).

العديد من الدراسات تم إجراؤها لتقدير البخر نتح باستخدام نظام الاستدلال الضبابي. فقد ذكر (Atiaa and Abdul-Qadir 2012) في دراستهما أن نظام الاستدلال الضبابي يعتبر أسلوب ذكي مناسب لنمذجة ديناميكية عملية البخر. كما أستنتج (Keskin et al. 2004) أنه يمكن استخدام نظام الاستدلال الضبابي لتقدير البخر اليومي لبحيرة إجيردير بتركيا كما أن هذا النظام مناسب أيضًا لتقدير قيم البخر اليومية المفقودة. كما ذكر (Balve and Patel 2016) أن نظام الاستدلال الضبابي لديه القدرة على التنبؤ بقيم البخر نتح. أيضاً خلصت دراسة (Abbas et al. 2017) إلى أن أنظمة الاستدلال الضبابي تتمتع بكفاءةٍ عالية في تقدير قيم البخر نتح المرجعي. نذكر أيضاً الدراسة التي قام بها (Lin et al. 2014)، حيث أفاد بأن أنظمة الاستدلال الضبابي تعتبر أداة رياضية فعالة لتقدير البخر نتح. كما وجد كل من (Naderianfar et al. 2017) و (Odhiambo et al. 2001) أن نظام الاستدلال الضبابي يمكن استخدامه بنجاح في تقدير البخر نتح المرجعي ببيانات مناخية محدودة. يهدف هذا البحث إلى تطوير نموذج استدلال ضبابي يعتمد على مجموعات مختلفة من متغيرات الأرصاد الجوية المتاحة مثل متوسط درجة حرارة الهواء (T_{mean})، والرطوبة النسبية (RH_{mean})، والإشعاع الشمسي الساقط فوق الغلاف الجوي (R_a) للتنبؤ بـ ET_o بمنطقة شحات في ليبيا.

2. المواد وطرائق العمل

البيانات المناخية المستخدمة في هذه الدراسة تم الحصول عليها من محطة الأرصاد الجوية بمنطقة شحات التي تقع على خط طول ′51 °21 ودائرة عرض ′49 °32 ويبلغ ارتفاعها عن سطح البحر حوالي 621 متر. هذه البيانات عبارة عن متوسطات شهرية لدرجة الحرارة والرطوبة النسبية وسرعة الرياح وعدد ساعات السطوع الشمسي للفترة من عام 1963 م وحتى عام 1999 م (37 سنة) والجدول (1) يوضح ملخص لبعض الإحصاءات لهذه البيانات.

جدول.1. بعض الإحصاءات للمتغيرات المناخية بمحطة أرصاد شحات

FPM $mm.d^{-1}$	Sun hr	U_2 $m.s^{-1}$	RH_{mean} %	T_{mean} °C	T_{min} °C	T_{max} °C	Parameter
4	8	4.7	67.8	16.6	12.3	20.9	المتوسط
0.1	0.1	0.1	0.4	0.2	0.2	0.3	الخطأ القياسي
6.7	11.1	8	50	19.8	17.9	22.1	المدى
7.8	13	10	89	25.9	21.2	31.1	أقصى قيمة
1.1	1.9	2.1	39	6.2	3.3	9	أقل قيمة
444	444	444	444	444	444	444	العدد

2 1. البخر نتح المرجعي (ET₀) Reference Evapotranspiration

تم حساب البخر نتح المرجعي في هذه الدراسة باستخدام معادلة الفاو بنمان- مونتيث (FPM56)، حيث تعتبر هذه المعادلة هي الطريقة القياسية الوحيدة والمرجعية لحساب البخر نتح المرجعي (Allen et al. 1998). تأخذ هذه المعادلة الإشعاع والديناميكا الهوائية بنظر الاعتبار وتكتب بالصيغة 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$^{-1}$).

R_n : صافي الإشعاع عند سطح المحصول (ميجا جول.م$^{-2}$.يوم$^{-1}$).

G : تدفق حرارة التربة (ميجا جول.م$^{-2}$.يوم$^{-1}$).

T : متوسط درجة الحرارة (°م).

U_2 : سرعة الرياح مقاسه عند ارتفاع 2 م من سطح الأرض (م.ثانية$^{-1}$).

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 منحنى ضغط البخار (كيلو باسكال.°م$^{-1}$).

γ : ثابت الرطوبة (كيلو باسكال.°م$^{-1}$).

تم استخدام برنامج REF-ET الإصدار 4.1 (Allen 2000) لحساب البخر نتح المرجعي.

2 2. الإشعاع الشمسي الساقط فوق الغلاف الجوي Extraterrestrial Radiation

إن الإشعاع الشمسي الساقط فوق الغلاف الجوي (R_a) ليس مقاساً في هذه الدراسة ويمكن تقديره لكل يوم من أيام السنة عند خطوط العرض المختلفة وذلك من الثابت الشمسي والانحراف الشمسي والزمن بالنسبة إلى السنة من المعادلة الآتية: (Allen et al. 1998)

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc}\, d_r \left[\omega_s \sin(\varphi)\sin(\delta) + \cos(\varphi)\cos(\delta)\sin(\omega_s)\right] \qquad (2)$$

حيث:

: الإشعاع الساقط فوق الغلاف الجوي (ميجا جول.م$^{-2}$.يوم$^{-1}$). R_a

G_{sc}: الثابت الشمسي =0.082 (ميجا جول.م$^{-2}$.يوم$^{-1}$).

d_r: معكوس المسافة النسبية بين الأرض والشمس.

ω_s : زاوية ساعة الغروب (زاوية نصف قطرية).

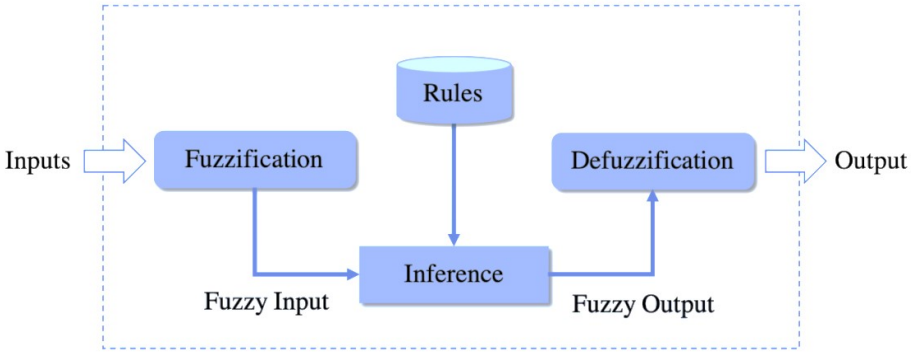
φ : خط العرض (زاوية نصف قطرية).

δ : الانحراف الشمسي (زاوية نصف قطرية).

أحد مخرجات نموذج REF-ET الإصدار 4.1 هو (R_a) (Allen 2000).

2 3.نظام الاستدلال الضبابي (FIS) Fuzzy Inference System

تم تطوير هذا النظام من قبل Zadeh (Zadeh 1965). ويشير هذا المصطلح إلى نظام التفكير التقريبي، وترتكز فكرته الأساسية على التعبير عن درجة العضوية في مجموعات ضبابية برقم حقيقي يقع في سلسلة متصلة بين القيم من 0 إلى 1. الفرق بين المجموعة الواضحة (أي الكلاسيكية) والضبابية يكون من خلال تقديم دالة العضوية. حيث تتلخص آلية عمل هذا المنطق في ثلاث خطوات وهي: التضبيب Fuzzification وبناء القواعد Rules ثم إزالة التضبيب Defuzzification والشكل (1) يوضح ذلك.



الشكل (1) آلية عمل المنطق الضبابي

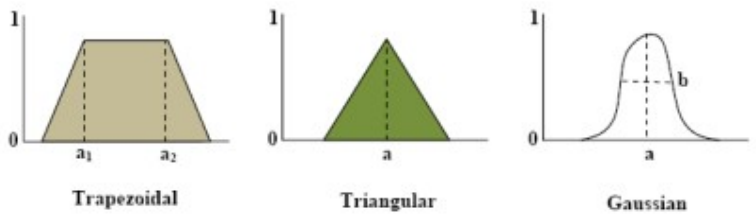
لنمذجة تقدير البخر نتح المرجعي باستخدام المنطق الضبابي، يمكن اتباع الخطوات التالية:

(أ) تضبيب المدخلات: حيث يتم تحويل المدخلات الواضحة مثل متوسط درجة الحرارة (T_{mean}) ومتوسط الرطوبة النسبية (RH_{mean}) والإشعاع الشمسي الساقط فوق الغلاف الجوي (R_a) إلى متغيرات ضبابية (في المدى بين 0 و 1) ثم تحديد الشكل المناسب لدالة العضوية، الشكل (2) يوضح الأشكال المختلفة لدوال العضوية في أنظمة الاستدلال الضبابي. حيث يتم تحديد درجات الانتماء لكل فئة داخل كل متغير، وتحويل القيم الرقمية إلى تعبيرات لفظية. وبناءً على ذلك، يمكن التعبير عن المدخلات المذكورة أعلاه بالمتغيرات اللغوية الآتية: مرتفعة جداً، ومرتفعة، ومتوسطة، ومنخفضة، ومنخفضة جداً.

(ب) صياغة قواعد الاستدلال الضبابية: وهي شروط تبنى على المدخلات التي تم تكوينها في المرحلة السابقة، ومنها نحصل على قيمة محددة من كل قاعدة. حيث تبنى القواعد في النموذج الضبابي على القاعدة الشرطية "IF-THEN" بالاعتماد على العمليات المنطقية AND و OR و NOT. حيث يعرف الجزء IF بالجزء السابق أو الشرط بينما يعرف الجزء THEN بالجزء اللاحق أو جواب الشرط أو النتيجة.

(ج) تجميع مخرجات القواعد السابقة.

(د) إزالة ضبابية القواعد، حيث يتم تحويل النتائج الضبابية إلى رقم واضح.



الشكل (2): الأشكال المختلفة لدوال العضوية

ولتنفيذ الخطوات المذكورة أعلاه تم استخدام البرنامج FisPro مفتوح المصدر (Guillaume et al. 2005)، حيث قسمت البيانات إلى قسمين اثنين: 70% تم استخدامها لتدريب النموذج و30% المتبقية تم استخدامها لاختباره. حيث تم إنشاء أقسام بدون قواعد ثم استخدام خوارزمية Wang و Mendel لإنشاء هذه القواعد (Wang and Mendel 1992). حيث تم اختبار ستة مجموعات من البيانات المناخية موضحة بالجدول (2).

جدول (2): المتغيرات المناخية المدخلة إلى نموذج FIS

النموذج	T_{mean}	RH_{mean}	R_a
FIS1	✓		
FIS2	✓		✓
FIS3		✓	
FIS4		✓	✓
FIS5	✓	✓	
FIS6	✓	✓	✓

2 4.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$^{-1}$)، ومعامل ناش-ساتكليف Nash and Sutcliffe 1970 (NSE)، ومعامل التقدير R^2 (Kennedy and Neville 1986[1])، كمعايير إحصائية. هذه المعايير موضحة بالمعادلات الآتية:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(ET_{FIS} - ET_{FPM56})^2}{n}} \qquad (3)$$

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n}\left(ET_{FIS} - \overline{ET}_{FIS}\right)\left(ET_{FPM56} - \overline{ET}_{FPM56}\right)\right]^2}{\sum_{i-1}^{n}\left(ET_{FIS} - \overline{ET}_{FIS}\right)^2 \sum_{i-1}^{n}\left(ET_{FPM56} - \overline{ET}_{FPM56}\right)^2} \qquad (4)$$

$$\mathrm{NSE} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(ET_{FPM56} - ET_{FIS})^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(ET_{FPM56} - \overline{ET}_{FPM56}\right)^2} \qquad (5)$$

حيث أن النموذج الأفضل هو الذي يعطي أقل قيمة RMSE (مم.يوم$^{-1}$)، أما بالنسبة (R^2) فإن قيمته تتراوح بين 0 و1 حيث يعتبر النموذج أفضل أداءً كلما اقتربت قيمة هذا المعامل من 1، في حين أن معامل (NSE) تتراوح قيمته بين - ∞ و 1 حيث يعتبر النموذج ذو قدرة عالية على التنبؤ إذا كانت قيمة هذا المعامل تساوي 1.

حيث:

ET_{FIS} : البخر نتح المحسوب بواسطة نظام الاستدلال الضبابي.

ET_{FPM56}: البخر نتح المحسوب بواسطة الطريقة المرجعية (الفاو بنمان مونتيث).

$\overline{ET}_{FPM56}$: متوسط البخر نتح المحسوب بواسطة الطريقة المرجعية (الفاو بنمان مونتيث).

$\overline{ET}_{FIS}$: متوسط البخر نتح المحسوب بواسطة نظام الاستدلال الضبابي.

n : العدد الكلي للبيانات

3. النتائج والمناقشة

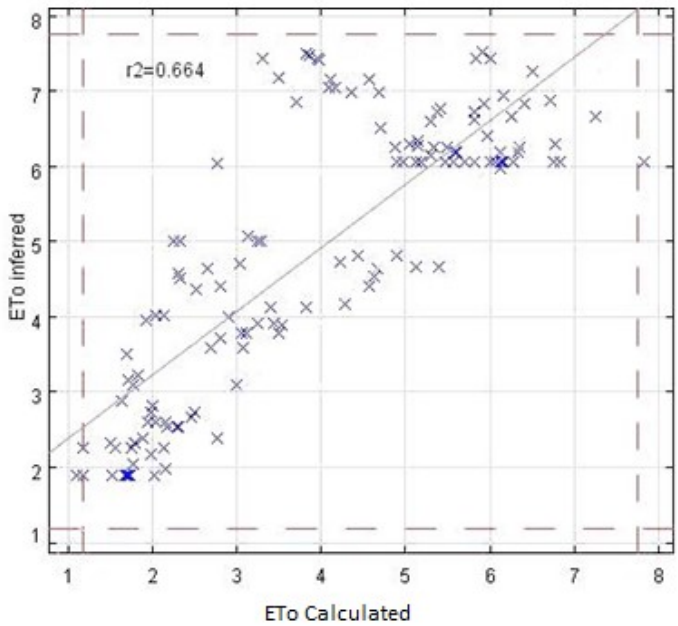
باستخدام المتغيرات المذكورة في جدول (1) تم تحديد ستة نماذج من هذه المتغيرات موضحة بالجدول (2)، حيث يحتوي كل نموذج على متغيرات مناخية محددة مثل متوسط درجة الحرارة (T_{mean}) ومتوسط الرطوبة النسبية (RH_{mean}) والإشعاع الشمسي الساقط فوق الغلاف الجوي المحسوب (R_a). بمقارنة قيمة البخر نتح المرجعي المحسوب بواسطة هذه النماذج والبخر نتح المرجعي المحسوب بواسطة معادلة الفاو بنمان مونتيث تم الحصول على قيم المعايير الإحصائية المستخدمة في هذه الدراسة وهي الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ (RMSE) ومعامل التحديد (R^2) ومعامل ناش-ساتكليف (NSE) وقد كانت نتائجها كما في الجدول (3).

جدول.3.قيم المتغيرات الإحصائية المستخدمة في الدراسة لمرحلة الاختبار

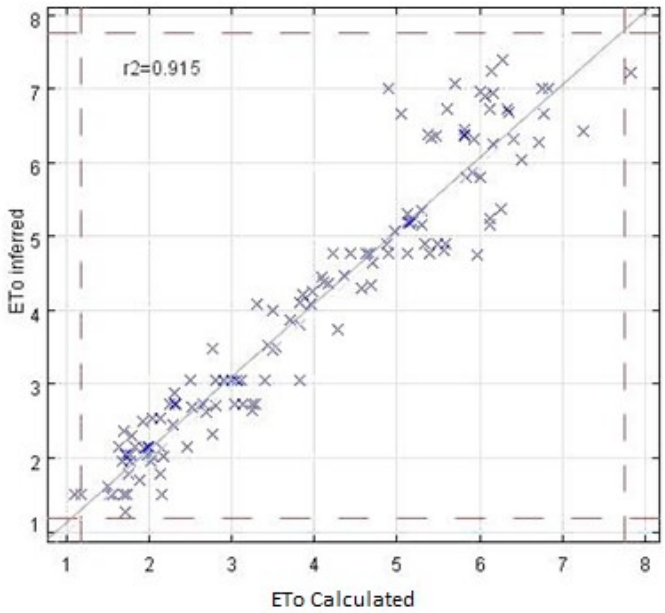
مرحلة الاختبار			المتغيرات المستخدمة	النموذج
NSE	R^2	RMSE		
0.32	0.66	1.42	T_{mean}	FIS1
0.90	0.92	0.53	T_{mean}, R_a	FIS2
0.53	0.63	1.18	RH_{mean}	FIS3
0.94	0.94	0.42	RH_{mean}, R_a	FIS4
0.93	0.93	0.45	T_{mean}, RH_{mean}	FIS5
0.98	**0.98**	**0.25**	T_{mean}, RH_{mean}, R_a	FIS6

هذا الجدول يوضح أنه عند مقارنة قيمة البخر نتح المرجعي المحسوب بواسطة نظام الاستدلال الضبابي، والذي يشار إليه هنا بالنموذج (FIS1) بقيمة البخر نتح المرجعي المحسوب بمعادلة الفاو بنمان مونتيث باستخدام متغير متوسط درجة الحرارة فقط (T_{mean})، كانت قيمة (RMSE) تساوي 1.42 (مم.يوم$^{-1}$) وتعتبر هذه القيمة أعلى قيمة للخطأ تم الحصول عليها للنماذج الستة التي تم اختبارها، أما قيمتي (R^2) و (NSE) فكانت 0.66 و 0.32 على التوالي. وتم الحصول على نتيجة مقاربة لهذه النتيجة عندما تم استخدام متغير متوسط الرطوبة النسبية فقط (RH_{mean}) كمدخل إلى نموذج الاستدلال الضبابي (FIS3). حيث كانت قيمة (RMSE) تساوي 1.18 (مم.يوم$^{-1}$) أما قيمتي (R^2) و (NSE) فكانت 0.63 و0.53 على التوالي والشكلين (3) و(5) يوضحان العلاقة بين البخر نتح المرجعي المحسوب بمعادلة الفاو بنمان مونتيث (FPM56) ونموذجي الاستدلال الضبابي (FIS1) و(FIS3) على التوالي، وهذه النتائج تشير إلى أن نموذج الاستدلال الضبابي أداؤه ضعيفاً إلى حدٍ ما إذا ما تم استخدام متغير مناخي واحد فقط. ولكن عند إضافة متغير الإشعاع الشمسي الساقط فوق الغلاف الجوي المحسوب (R_a)، والمشار إليه هنا بالنموذج (FIS2)، تحسن أداء النموذج بشكل واضح، حيث انخفضت قيمة (RMSE) إلى 0.53 (مم.يوم$^{-1}$) وبنسبة قدرها 63% في حين ارتفعت قيمة (R^2) لتصل إلى 0.92 وبنسبة قدرها 39%، وقيمة (NSE) لتصل 0.90 والشكل (4) يوضح هذه العلاقة. وعلى نفس المنوال، عند إضافة متغير الإشعاع الشمسي الساقط فوق الغلاف الجوي المحسوب (R_a) إلى متغير متوسط الرطوبة النسبية (RH_{mean})، والذي يعرف هنا بالنموذج (FIS4)، كان هناك تحسناً ملحوظاً في أداء هذا النموذج أيضاً. حيث انخفضت قيمة (RMSE) إلى 0.42 (مم.يوم$^{-1}$) وبنسبة قدرها 64%، وارتفعت قيمة (R^2) إلى 0.94 وبنسبة قدرها 49% وقيمة (NSE) لتصل 0.94 والشكل (6) يوضح علاقة البخر نتح المرجعي المحسوب بمعادلة الفاو بنمان مونتيث (FPM56) ونموذج الاستدلال الضبابي (FIS4). وكذلك الحال عندما تم استخدام متغيري متوسط درجة الحرارة (T_{mean}) ومتوسط الرطوبة النسبية (RH_{mean}) مع بعضهما، والمشار إليه في الجدول (2) بالنموذج (FIS5) كان أداء النموذج جيداً أيضاً مقارنةً باستخدام كل متغير على حدة والشكل (7) يوضح هذه العلاقة. من بين

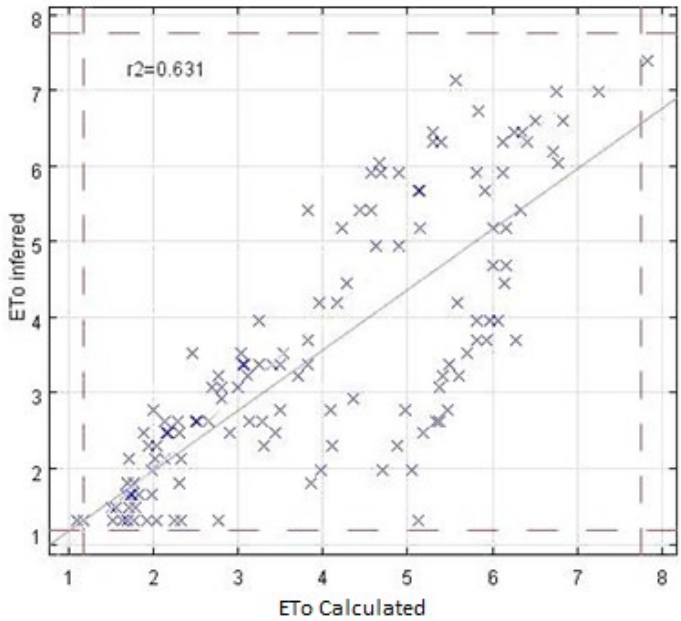
النماذج الستة التي تم اختبارها في هذه الدراسة، كان النموذج (FIS6) هو الأفضل أداءً. في هذا النموذج تم استخدام المتغيرات الثلاث المشار إليها سابقاً، حيث كانت قيمة (RMSE) تساوي 0.25 (مم.يوم$^{-1}$) وهي أقل قيمة للجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ، أما قيمتي (R^2) و (NSE) فكانت 0.98 و 0.98 على التوالي وهما أعلى قيمتين لهذين المعاملين تم الحصول عليها في هذه الدراسة، والشكل (8) يوضح العلاقة بين البخر نتح المرجعي المحسوب بمعادلة الفاو بنمان مونتيث (FPM56) ونموذج الاستدلال الضبابي (FIS6). وهذه النتائج التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة تتفق مع نتائج كلاً من (Naderianfar et al. 2017) و (Odhiambo et al. 2001) و (Abbas et al. 2017).



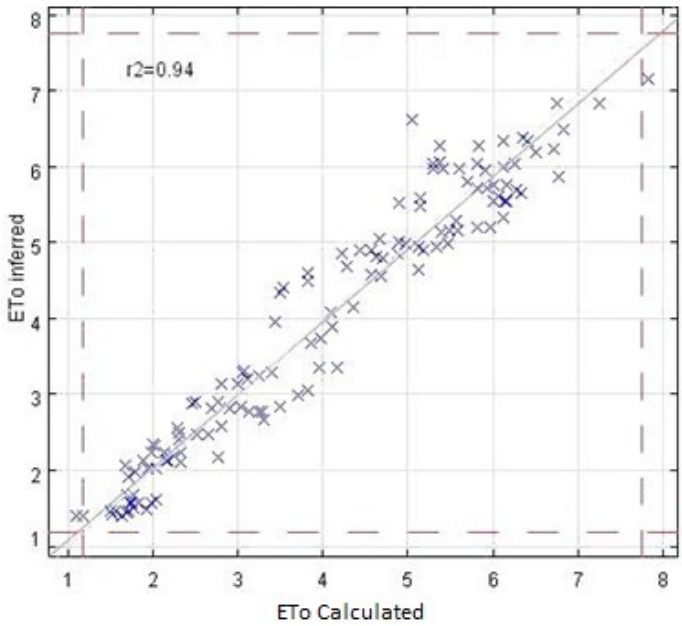
الشكل. 3. العلاقة بين قيم البخر نتح المرجعي المحسوب بمعادلة (FPM56) والنموذج (FIS1).



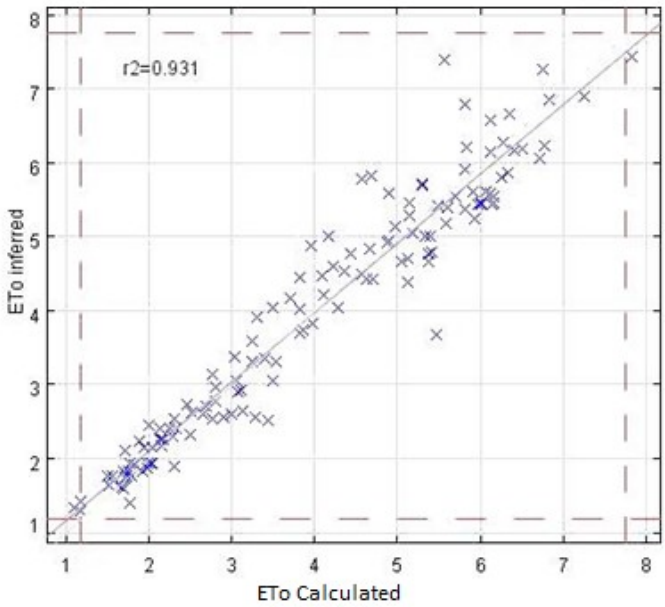
الشكل.4. العلاقة بين قيم البخر نتح المرجعي المحسوب بمعادلة (FPM56) والنموذج (FIS2)



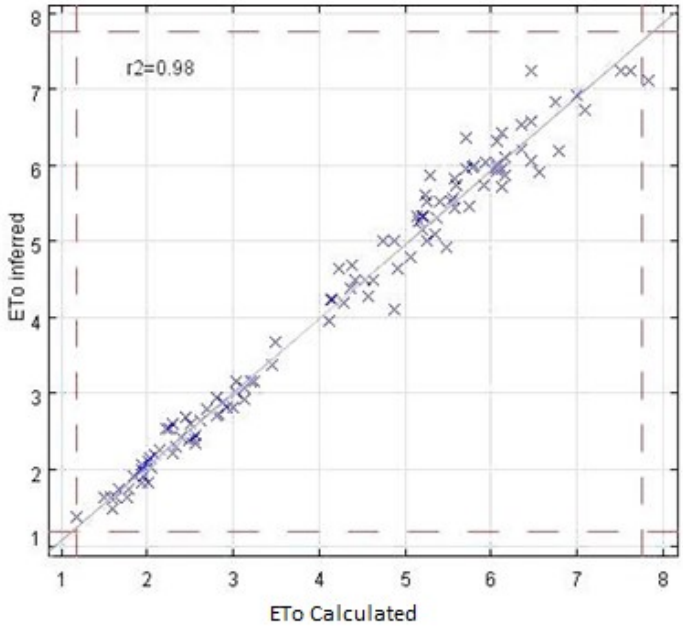
الشكل.5. العلاقة بين قيم البخر نتح المرجعي المحسوب بمعادلة (FPM56) والنموذج (FIS3)



الشكل.6. العلاقة بين قيم البخر نتح المرجعي المحسوب بمعادلة (FPM56) والنموذج (FIS4)



الشكل.7. العلاقة بين قيم البخر نتح المرجعي المحسوب بمعادلة (FPM56) والنموذج (FIS5)



الشكل.8. العلاقة بين قيم البخر نتح المرجعي المحسوب بمعادلة (FPM56) والنموذج (FIS6)

4. الخلاصة

في هذه الدراسة تم اختبار مقدرة نظام الاستدلال الضبابي (FIS) لتقدير البخر النتح المرجعي (ET_o) بمنطقة شحات في ليبيا. حيث تم استخدام ثلاث متغيرات (متوسط درجة حرارة الهواء، ومتوسط الرطوبة النسبية، والإشعاع الشمسي الساقط فوق الغلاف الجوي) كمدخلات لهذا النظام لتقدير ET_o. تمت مقارنة نتائج نظام الاستدلال الضبابي مع نتائج طريقة الفاو بنمان مونتيث (FPM56) للنماذج الستة التي تم اختبارها بالاعتماد على بعض المعايير الإحصائية مثل (RMSE وR^2). خلصت هذه الدراسة إلى أن نظام الاستدلال الضبابي يمكن استخدامه لتقدير البخر نتح المرجعي خاصة في الظروف التي لا تتوفر فيها البيانات المناخية المطلوبة لمعادلة (FPM56).

Reference

Abbas, S. A., A. A. Hassan and W. S. Al-Rekabi (2017). "Estimation of Mean Reference Evapotranspiration in Basrah City, South of Iraq Using Fuzzy Logic." *Journal of University of Babylon* 25(1).

Adamala, S., N. Raghuwanshi, A. Mishra and R. Singh (2019). "Generalized wavelet neural networks for evapotranspiration modeling in India." *ISH Journal of Hydraulic Engineering* 25(2): 119-131.

Adeloye, A. J., R. Rustum and I. D. Kariyama (2012). "Neural computing modeling of the reference crop evapotranspiration." *Environmental Modelling & Software* 29(1): 61-73.

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

Allen, R. G., L. S. Pereira, T. A. Howell and M. E. Jensen (2011). "Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy." *Agricultural Water Management* 98(6): 899-920.

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.".

Atiaa, A. M. and A. M. Abdul-Qadir (2012). "Using fuzzy logic for estimating monthly pan evaporation from meteorological data in Emara/South of Iraq." *Baghdad Science Journal* 9(1): 133-140.

Balve, P. N. and J. N. Patel (2016). "Prediction of evapotranspiration using Fuzzy logic." *Journal of Agrometeorology* 18(2): 311-314.

Chia, M. Y., Y. F. Huang, C. H. Koo and K. F. Fung (2020). "Recent advances in evapotranspiration estimation using artificial intelligence approaches with a focus on hybridization techniques—a review." *Agronomy* 10(1): 101.

Egipto, R., A. Aquino, J. M. Costa and J. M. Andújar (2023). "Predicting Crop Evapotranspiration under Non-Standard Conditions Using Machine Learning Algorithms, a Case Study for Vitis vinifera L. cv Tempranillo." *Agronomy* 13(10): 2463.

Ekhmaj, A. I. (2012). Prediction of evapotranspiration using artificial neural networks model. Malaysia In: International Annual Symposium on Sustainability Science and Management. Terengganu.

Ekhmaj, A. I., M. Ben Zagta, Y. Daw Ezlit and A. M. Shaghleb (2013). "Estimation of the Reference Evapotranspiration in Sirt Region Using an Artificial Neural Networks." *The Lybian Journal of Agriculture* 18(1-2): 1-14.

Guillaume, S., B. Charnomordic and J.-L. Lablee (2005). FisPro : An open source portable software for fuzzy inference systems fispro.

Huang, G., L. Wu, X. Ma, W. Zhang, J. Fan, X. Yu, W. Zeng and H. Zhou (2019). "Evaluation of CatBoost method for prediction of reference evapotranspiration in humid regions." *Journal of Hydrology* 574: 1029-1041.

Kennedy, J. B. and A. M. Neville (1986). Basic Statistical Methods for Engineers and Scientists. Harper & Row, New York.

Keskin, M. E., Ö. Terzi and D. Taylan (2004). "Fuzzy logic model approaches to daily pan evaporation estimation in western Turkey/Estimation de l'évaporation journalière du bac dans l'Ouest de la Turquie par des modèles à base de logique floue." *Hydrological Sciences Journal* 49(6).

Lin, C. H., C. Chao and K. H. Cheng (2014). "Study for Regional Evapotranspiration by Fuzzy Inference System." *Advanced Materials Research* 838: 1776-1779.

Liu, Q., Z. Wu, N. Cui, W. Zhang, Y. Wang, X. Hu, D. Gong and S. Zheng (2022). "Genetic algorithm-optimized extreme learning machine model for estimating daily reference evapotranspiration in Southwest China." *Atmosphere* 13(6): 971.

Naderianfar, M., H. Moradi and H. Ansari (2017). "Estimating The Hourly Reference Evapotranspiration With Fuzzy Inference Systems." *INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED BIOTECHNOLOGY AND RESEARCH* 8: 50-59.

Nash, J. E. and J. V. Sutcliffe (1970). "River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles." *Journal of hydrology* 10(3): 282-290.

Odhiambo, L. O., R. Yoder and D. Yoder (2001). "Estimation of reference crop evapotranspiration using fuzzy state models." *Transactions of the ASAE* 44(3): 543.

Raza, A., R. Fahmeed, N. R. Syed, O. M. Katipoğlu, M. Zubair, F. Alshehri and A. Elbeltagi (2023). "Performance Evaluation of Five Machine Learning Algorithms for Estimating Reference Evapotranspiration in an Arid Climate." *Water* 15(21): 3822.

Spontoni, T. A., T. M. Ventura, R. S. Palácios, L. F. Curado, W. A. Fernandes, V. B. Capistrano, C. L. Fritzen, H. G. Pavão and T. R. Rodrigues (2023). "Evaluation and modelling of reference evapotranspiration using different machine learning techniques for a brazilian tropical savanna." *Agronomy* 13(8): 2056.

Wang, L.-X. and J. M. Mendel (1992). "Generating fuzzy rules by learning from examples." *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics* 22(6): 1414-1427.

Wu, L., H. Zhou, X. Ma, J. Fan and F. Zhang (2019). "Daily reference evapotranspiration prediction based on hybridized extreme learning machine model with bio-inspired optimization algorithms: Application in contrasting climates of China." *Journal of Hydrology* 577: 123960.

Yamaç, S. S. and M. Todorovic (2020). "Estimation of daily potato crop evapotranspiration using three different machine learning algorithms and four scenarios of available meteorological data." *Agricultural Water Management* 228: 105875.

Zadeh, L. A. (1965). "Fuzzy sets." *Information and control* 8(3): 338-353.

Using Fuzzy Inference System to Estimate Reference Evapotranspiration in Shahat Region, Libya

Osama A. ABDELATTY Mohamed A. MOMEN
Soil and Water Department
Faculty of Agriculture, Omar Almokhtar University, Elbida, LIBYA
Osama.abdelhamed@omu.edu.ly

Received on 01/23/2023. Approved on 06/22/2024. Published on 07/07/2024.

Abstract

This study was conducted to estimate the reference evapotranspiration (ET_o) for Shahat region in Libya using Fuzzy Inference System (FIS) compared to the results calculated with the FAO Penman-Monteith equation (FPM56). Climatological data from Shahat Meteorological Station were used for the period from 1963 to 1999, in which six different FIS combinations were used from the available meteorological variables, such as the mean air temperature (T_{mean}), the mean relative humidity (RH_{mean}), and extraterrestrial Radiation (R_a), the latter is calculated as a function of location and time during the year. The FIS model was trained using 70% of the climatic data and tested using the remaining 30%. The statistical indicators obtained in this study showed that the root mean square error value ranged between 0.25 ($mm.day^{-1}$) for the model of mean air temperature (T_{mean}), mean relative humidity (RH_{mean}), and extraterrestrial Radiation (R_a) and 1.42 ($mm.day^{-1}$) for mean air temperature (T_{mean}) model only, while the coefficient of determination was 0.98 and 0.66 in the two cases, respectively, during the test period. Therefore, FIS models represent a good choice for estimating ETo, especially when climate data are scarce.

Keywords: *Reference evapotranspiration, Penman-Monteith equation, Fuzzy inference system*