

Using constant wind speed for estimating reference evapotranspiration in arid and semi-arid regions

Ehab Mohamed Sagar^{1*}, Mohamed Al-Azhari Saleh²

^{1,2}Department of soil and water, University of Tripoli, Tripoli, Libya.

استخدام ثابت سرعة الرياح في حساب متغير البخر-نتح المرجعي في المناطق الجافة وشبه الجافة

إيهاب محمد صقر^{1*}، محمد الأزهرى صالح²
^{1,2}قسم التربة والمياه، كلية الزراعة، جامعة طرابلس، طرابلس، ليبيا

*Corresponding author: E.sagar@uot.edu.ly

Received: February 18, 2026

Accepted: April 05, 2026

Published: April 14, 2026

Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract:

Despite the global abundance of water, some regions suffer from water scarcity due to climatic and their impact. Evapotranspiration ET plays a crucial role in calculating the amount of water required for crops, and any deficiency leads to decreased productivity. Wind speed in arid and semi-arid regions is a critical factor in exacerbating water deficits. Reliance on default values, such as the global constant (2 m/s), can have an impact. Libya exemplifies this problem. Agriculture there faces a dual challenge: a water deficit resulting from agricultural expansion and a severe lack of meteorological data. This deficiency leads to use alternatives such as the wind constant, highlighting the need to evaluate its accuracy compared to local data. The problem addressed by this study is the lack of clarity regarding the accuracy of this constant when estimating ET in Libya. This study aims to bridge the research gap by quantitatively assessing the impact of this assumption. The study utilized data from the research stations of the Faculty of Agriculture at the University of Tripoli. The results showed an average ET of 5.46 mm/day, totaling 2311.16 mm. When comparing the calculated Eto with station data and the calculated Eto with the default constant, the coefficient of determination (R^2) was 0.984, indicating a strong positive correlation, with an RMSE error of 0.036. The stability of the results is attributed to the presence of windbreaks surrounding the station, as wind showed a very weak correlation ($r^2 = 0.03$). The study concludes that the Penman-Monteith equation performed well in managing variables such as wind speed and recommends its use within site limitations, while emphasizing the need for testing in open areas to assess the impact of the absence of windbreaks.

Keywords: Reference Evapotranspiration; Wind constant; Climate; Crop water requirements.

المخلص:

رغم توفر المياه على مستوى كوكب الأرض، إلا أن بعض المناطق تعاني شحاً مائياً، يرجع ذلك لظروف المناخ وأثره. يلعب البخر-نتح ET دوراً في حساب كميات المياه المضافة للمحاصيل، وأي فيها نقص في هذه الكمية يتبعه نقص في الإنتاجية. تلعب سرعة الرياح في المناطق الجافة وشبه الجافة دوراً حاسماً في تفاقم العجز المائي. وأن الاعتماد على القيم الافتراضية، كالثابت العالمي (2 م/ث) قد يكون له تأثير. تعتبر ليبيا حالة لمثل هذه الإشكاليات. وتواجه الزراعة في ليبيا تحدياً ثنائياً: عجز مائي ناتج عن التوسع الزراعي، ونقصاً حاداً في بيانات الأرصاد الجوية. هذا النقص يدفع المهتمين لاستخدام بدائل مثل ثابت الرياح، من هنا تبرز الحاجة لتقييم دقة هذا الثابت مقارنة بالبيانات المحلية. تتمثل مشكلة الدراسة في عدم وضوح دقة هذا الثابت عند تقدير ET في ليبيا، وتهدف الدراسة لسد الفجوة البحثية عبر التقييم الكمي لتأثير هذا

الافتراض. استخدمت الدراسة بيانات محطات أبحاث كلية الزراعة بجامعة طرابلس. أظهرت النتائج أن متوسط ET_0 بلغ 5.46 م/يوم، وبإجمالي 2311.16 مم للبيانات المتوفرة. عند مقارنة ET_0 المحسوب باستخدام بيانات المحطة والمحسوب باستخدام الثابت الافتراضي، بلغت قيمة معامل التحديد $R^2=0.984$ ، مما يشير لارتباط موجب وقوي، مع قيمة خطأ بلغت $RMSE=0.036$. يعزى استقرار النتائج لوجود مصدات الرياح المحيطة بالمحطة، حيث أظهرت الرياح ارتباطاً ضعيفاً جداً $r^2 = 0.03$. تخلص الدراسة إلى أن معادلة بنمان-مونتيث أظهرت أداءً يساعد في تجنب المتغيرات مثل سرعة الرياح، وتوصي باستخدامها ضمن حدود الموقع، مع ضرورة إجراء اختبارات في المناطق المفتوحة لتقييم أثر غياب الحواجز.

الكلمات المفتاحية: البخر نتج المرجعي، ثابت الرياح، المناخ، الإحتياجات المائية.

المقدمة:

رغم توفر المياه بكميات كبيرة على كوكب الأرض، إلا أن بعض المناطق تعاني شحاً شديداً في المياه، يرجع ذلك بدرجة كبيرة إلى ظروف المناخ وأثره على الدورة الهيدرولوجية على مستوى الكوكب، وفي ظل ما يشهده من تغيرات مناخية سوف لن يكون من السهل معالجة آثار نقص الإمداد المائي، خاصة في المناطق الجافة وعلى مستوى القطاعات الحساسة مثل قطاع الزراعة. يدفع الأمن الغذائي بهذه التحديات إلى تقاطعات قد تحد من كفاءة أداء عوامل الإنتاج الزراعي مثل المياه والأسمدة وتدهور إنتاجية التربة وإنخفاض إنتاجية المحاصيل. يلعب البخر نتج $Evapotranspiration$ (ET) دوراً رئيسياً في تحديد كميات المياه المضافة (الري) إلى المحاصيل للوصول للإنتاجية المطلوبة، وأي نقص في الإمداد سيبعده نقص في الإنتاجية وبالتالي إنخفاض كفاءة استخدام المياه بسبب زيادة كميات المياه اللازمة للري، والتي لا تتوفر غالباً في تلك المناطق وذلك لتغطية العجز في الإنتاجية ومحاولة سد فجوة الأمن الغذائي.

يعد ET في صورة البخر نتج المرجعي ($Reference\ evapotranspiration$ (ET_0)) ركيزة هامة في الدراسات الهيدرولوجية والإدارة المستدامة للموارد المائية، حيث يمثل المكون الرئيسي للموازنة المائية في الطبيعة (Pereira et al., 2025). تكتسب دقة تقدير متغير ET_0 أهمية مضاعفة في المناطق الجافة وشبه الجافة، حيث تتجاوز معدلات ET المحتملة كميات الهطول بأضعاف، يجعل ذلك من التنبؤ الدقيق بهذا المتغير أمراً هاماً لإستدامة المياه والحفاظ على الأمن الغذائي (Gong et al., 2006). تلعب العوامل المناخية الديناميكية في المناطق الجافة وشبه الجافة دوراً حاسماً في تقاوم ظاهرة العجز المائي، وخاصة سرعة الرياح. تشير الدراسات إلى أن أي خطأ في تقدير المعاملات المناخية داخل معادلة بنمان-مونتيث (FAO-56) قد يؤدي إلى انحرافات في حسابات كمية الري، وسيترتب على ذلك هدراً للموارد المائية الشحيحة أو تعرض المحاصيل للإجهاد المائي (Jerszurki et al., 2017). فضلاً عن ذلك، فإن الإعتماد على القيم الافتراضية لسرعة الرياح، مثل الثابت العالمي 2 م/ث (Allen et al., 1998) في بيئات تتميز بنشاط ربيحي عالٍ أو سكون هواء شديد، قد يؤثر بطريقة أو بأخرى على كفاءة نماذج التخطيط في المياه (Todorovic et al., 2013) لذلك، فإن فهم التفاعل بين العوامل المناخية في المناطق الجافة يعد خطوة أساسية لتطوير استراتيجيات ري ذكية قادرة على مواجهة تحديات التغير المناخي والنمو السكاني المتزايد (McVicar et al., 2012). تعتبر ليبيا حالة لمثل هذه الإشكاليات، فهي تقع بالكامل تقريباً ضمن النطاق المناخي الجاف وشبه الجاف، حيث تمثل الموارد المائية غير المستدامة حوالي 95% من إمدادات المياه تقريباً (Al-Farajat et al., 2021). تواجه الزراعة في ليبيا تحدياً ثنائياً، حيث تعاني من عجز مائي ناتج عن التوسع في المشاريع الزراعية، ومن جهة أخرى نقصاً حاداً في بيانات الأرصاد الجوية وذلك لأسباب مختلفة (El-Gammudi et al., 2018). النقص في البيانات، وخاصة سرعة الرياح، يدفع المهتمين للبحث عن حلول بديلة لقيم المتغيرات المناخية، مثل استخدام ثابت الرياح العالمي (2 م/ث) أو استخدام البيانات التي توفرها المنصات الدولية. مع ذلك، نظراً للطبيعة المناخية لليبي التي تتميز بهبوب رياح القبلي الجافة والحارة، فإن استخدام ثابت رياح موحد قد يؤدي إلى أخطاء تراكمية في تقدير ET_0 ، مما يهدد باستنزاف الأحواض الجوفية بشكل أسرع من المتوقع (Saad et al., 2020). (Pereira et al., 2020) لذلك، تبرز الحاجة لتقييم مدى دقة هذا الثابت ومقارنته بالبيانات المحلية لضمان إدارة أكثر كفاءة لما تبقى من موارد مائية.

تتمثل مشكلة الدراسة في عدم وضوح مدى دقة استخدام ثابت لسرعة الرياح (2 م/ث) ضمن معادلة بنمان-مونتيث (FAO-56) عند تقدير ET_0 في البيئات الجافة وشبه الجافة مثل ليبيا. وعلى الرغم من تعدد الدراسات التي تناولت تقدير البخر-نتج المرجعي، إلا أن هناك فجوة بحثية تتمثل في محدودية التقييم الكمي لتأثير هذا الافتراض على دقة حساب ET_0 في مناطق تعاني نقصاً في بيانات الأرصاد الجوية. وعليه فإن هذه الدراسة تهدف إلى تقييم أثر استخدام القيمة الثابتة لسرعة الرياح مقارنة بالبيانات المناخية الفعلية، وتحليل انعكاس النتائج على تقدير ET_0 واحتياجات الري في ليبيا. كما تسعى للإجابة عن مجموعة من التساؤلات وهي: ما مدى دقة استخدام القيمة الثابتة لسرعة الرياح؟ وكيف يؤثر ذلك على حساب الإحتياجات المائية للمحاصيل؟ وتتمثل الإضافة العلمية لهذه الدراسة في تقديم تقييم كمي لمدى ملاءمة هذا الافتراض في البيئات الجافة، مع دمج البيانات المحلية بما يساهم في تقليل عدم اليقين وتحسين كفاءة إدارة الموارد المائية في ظل التغيرات المناخية.

مواد وطرائق البحث:
موقع وبيانات الدراسة:

استخدمت الدراسة البيانات المناخية التي يتم رصدها بمحطات أبحاث كلية الزراعة بجامعة طرابلس، تصل المساحة الإجمالية للمحطات إلى 75 هكتار، تقع محطة الأرصاد في جنوب محطات الأبحاث، خط طول 13.221567 غرباً ودائرة عرض 32.842667 شمالاً، وتم تركيبها على ارتفاع 7 أمتار أعلى مبنى الورش، شكل (1)، يتميز الموقع باحتوائه على عدد كبير من الحقول المثمرة، إضافة لوجود مصدات الرياح التي تفصل وتحد الحقول عن بعضها البعض.

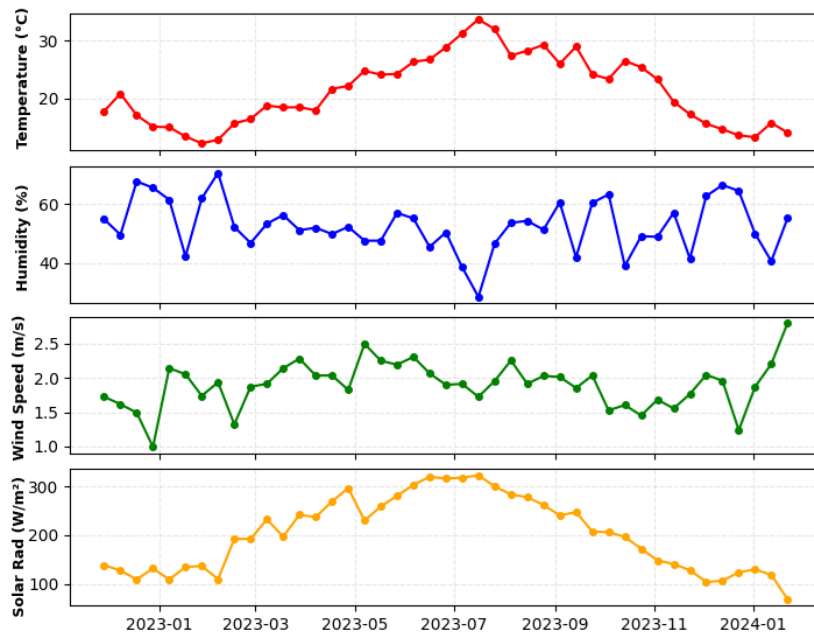


الشكل رقم (1): موقع الدراسة

البيانات المناخية التي تم الحصول عليها تمثل الفترة الزمنية: 11:00 2022/11/28 - 14:00 2024/01/24، والتي تبلغ 10132 ساعة، و423 يوم. الجدول (1) يوضح متوسط البيانات المناخية لمجموعة السجلات لهذه الفترة:

الجدول رقم (1): متوسط قيم عناصر المناخ

المتغير	متوسط درجة الحرارة	متوسط الرطوبة النسبية	متوسط سرعة الرياح	إجمالي الأمطار
الوحدة	C°	%	m/s	mm
القيمة	21.32	52.63	2.39	396.20



الشكل رقم (2): البيانات المناخية (سرعة الرياح، درجة الحرارة، الإشعاع الشمسي، الرطوبة النسبية لكل 10 أيام)

معادلة بنمان مونتيث (منظمة الأغذية والزراعة FAO):

في هذه الدراسة تم استخدام معادلة بنمان مونتيث Pereira وآخرون (2025) لحساب متغير البخر نتح المرجعي ET_0 ، وهي الصيغة المعتمدة من قبل منظمة الأغذية والزراعة FAO.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

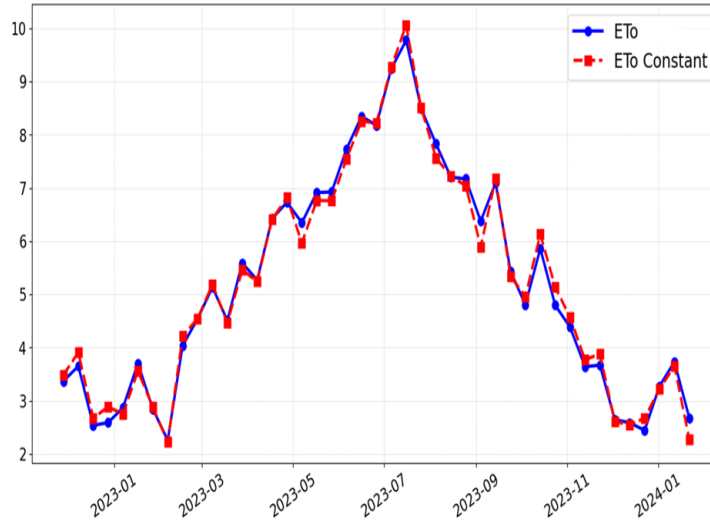
حيث:

- R_n : صافي الإشعاع الشمسي ميغا جول/متر²/ثانية.
 - G : تدفق حرارة التربة ميغا جول/متر²/ثانية.
 - γ : ثابت السيكرومتر كيلو باسكال/درجة مئوية.
 - Δ : ميل منحني ضغط البخار كيلو باسكال/درجة مئوية.
 - u_2 : سرعة الرياح متر/يوم عند ارتفاع 2 متر.
 - e_s : الضغط المشبع لبخار الماء كيلو باسكال.
 - e_a : الضغط الفعلي لبخار الماء كيلو باسكال.
 - T : متوسط درجة الحرارة عند ارتفاع 2 متر °م.
 - $(e_s - e_a)$: عجز ضغط البخار المشبع كيلو باسكال.
- كما توضح الصيغة التالية لمعادلة بنمان مونتيث لحساب ET_0 ، الصيغة المعدلة بإعتبار سرعة الرياح ثابتاً يساوي (2 م/ث).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{1800}{T + 273} (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1.68)}$$

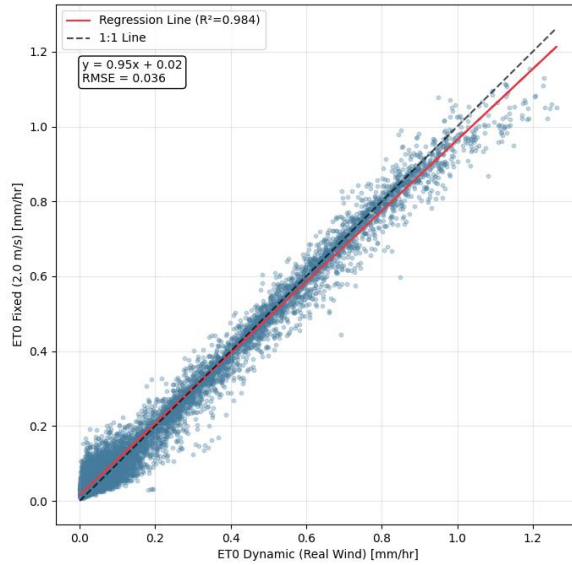
النتائج والمناقشة:

في هذه الدراسة استخدمت معادلة بنمان مونتيث لحساب ET_0 (مم/يوم)، من البيانات المناخية لمحطة الأرصاد الموجودة في محطات أبحاث كلية الزراعة بجامعة طرابلس، هذه البيانات هي (سرعة الرياح، م/ث. الإشعاع الشمسي، ميجا جول/يوم. الرطوبة النسبية للهواء الجوي، %) وكان متوسط ET_0 5.46 مم/يوم، وإجمالي ET_0 للفترة بالكامل 2311.16 مم. في البداية تم حساب ET_0 باستخدام معادلة بنمان مونتيث بعد أن تم تعديلها، حيث استخدم ثابت الرياح العالمي (2 م/ث)، شكل (3).



الشكل رقم (3): البخر نتح المرجعي ET_0 للبيانات المناخية المعدلة لثابت الرياح والبخر نتح المرجعي غير المعدل (مم/10 أيام)

ثم أجريت مقارنة لتقدير معامل الارتباط بين قيم ET_0 المحسوب من بيانات سرعة الرياح المسجلة من المحطة و ET_0 المحسوب باستخدام ثابت الرياح في المعادلة، حيث بلغت قيمة معامل التحديد: $R^2=0.984$ وهو ما يشير لوجود علاقة ارتباط موجبة وقوية بين القيمتين، شكل (4)، كما بلغت قيمة الجذر التربيعي لمتوسط الخطأ $RMSE=0.036$.



الشكل رقم (4): علاقة الارتباط ما بين البخر نتج المرجعي ET_0 للبيانات المناخية المعدلة لثابت الرياح والبحر نتج المرجعي غير المعدل (مم/ساعة)

ترتبط نتائج هذه الدراسة مع نتائج دراسة Zoltán وآخرون (2022) في الاتفاق على نتائج استخدام ثابت للرياح في معادلة بنمان مونتيت، غير أنها تختلف معها في المناخ الذي تم اختبار المعادلة المعدلة عليه، حيث تمثل هذه الدراسة المناخ الجاف وشبه الجاف، أما دراسة Zoltán فتمثل مناخ المناطق الرطبة، كما استخدموا في دراستهم معادلة أخرى معدلة غير المعادلة المعدلة لسرعة الرياح وهي المعادلة المعدلة بوضع قيمة الرياح تساوي صفراً، كلتا المعادلتين أثبتنا قدرتهم على تقدير ET_0 في الظروف الرطبة في المناطق المفتوحة. قد ترتبط نتائج هذه الدراسة بوجود مصدات الرياح التي تحيط بالمحطة المناخية من كل جانب تقريبا، شكل (5).



الشكل رقم (5): التوزيع المكاني لمصدات الرياح بمحطات الأبحاث بكلية الزراعة، جامعة طرابلس، ليبيا

تظهر نتائج تحليل الارتباط ما بين العناصر المناخية و ET_0 المقاس والمعدل ارتباط طردي قوي مع الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة كعوامل مد بالطاقة ET_0 ، بينما تظهر سرعة الرياح ارتباط ضعيف جداً $R^2 = 0.03$ ، الجدول (2)، يرجع هذا إلى أن تأثير الرياح في موقع الدراسة (مزرعة جامعة طرابلس) لا يعمل كعامل مستقل، بل يظهر دوره الفاعل فقط عند ارتباطه بالعجز في ضغط البخار، كما يظهر الأثر الكبير لمصدات الرياح التي تحيط المحطة القياس المناخية من جميع الاتجاهات، هذا يفسر استقرار وثبات ET_0 تحت ظروف الدراسة. تظهر معادلة بنمان مونتيت أداء قوي وثابت في مختلف الظروف المناخية، وقد يساعد ذلك في تجنب التعامل مع المتغيرات التي يصعب قياسها ومعالجة بياناتها مثل سرعة الرياح، كما يوفر فرصة جيدة لإختبار مدى فعالية تلك التقديرات في ظروف بيئية مختلفة مثل الحواجز الخضرية (الأشجار) والمراعي والحقول المفتوحة تحت نفس الظروف المناخية (الجافة وشبه الجافة).

الجدول رقم (2): قيم معامل الارتباط ما بين ET_o المعدل وغير المعدل.

المتغير	(ET_o)	(ET_o) غير المعدل	المعدل لثابت سرعة الرياح
درجة الحرارة	0.7101	0.7022	
الرطوبة النسبية	-0.6572	-0.6453	
سرعة الرياح	0.0128	0.0314	
الإشعاع الشمسي	0.9770	0.9691	

الخاتمة:

خلصت الدراسة إلى أن الاعتماد على الثابت العالمي لسرعة الرياح في معادلة بنمان مونتيث قدم تقديراً جيداً للبحر-نتج المرجعي ET_o في ظل الظروف المناخية الجافة في ليبيا، مع ارتباط إحصائي قيمته $R^2 = 0.984$. وقد أظهرت النتائج أن وجود مصدات الرياح المحيطة بمحطة الأبحاث لعب دوراً جوهرياً في تقليل حساسية الحسابات لتقلبات سرعة الرياح الفعلية، مما جعل تأثيرها كعامل مستقل ضعيفاً مقارنة بالإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة. بناءً على ذلك، أثبتت المعادلة كفاءة عالية في معالجة نقص البيانات المناخية وتوفير بديل عملي وعلمي يساعد في تحسين إدارة الموارد المائية وحساب الاحتياجات المائية بدقة في البيئات المحمية طبيعياً أو المحمية بالمصدات الطبيعية.

التوصيات:

توصي الدراسة باستخدام معادلة بنمان مونتيث لتحساب متغير ET_o ضمن الحدود التي أجريت فيها الدراسة، من الموقع إلى نوعية البيانات، كما توصي بإجراء المزيد من الإختبارات في المناطق المفتوحة ضمن نفس الظروف المناخية الجافة وشبه الجافة.

قائمة المراجع:

- Pereira, L. S., Paredes, P., Jovanovic, N., & Allen, R. G. (2025). Reference evapotranspiration: The FAO-56 Penman-Monteith equation updates and recommendations for practice. *Agricultural Water Management*, 301, 108920. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108920>
- Gong, L., Xu, C. Y., Chen, D., Halldin, S., & Chen, Y. D. (2006). Sensitivity of the Penman-Monteith reference evapotranspiration to key climatic variables in the Changjiang (Yangtze River) basin. *Journal of Hydrology*.
- Jerszurki, D., Souza, J. L. M., & Althoff, D. (2017). Impact of localized aerodynamic and surface resistance on FAO-56 Penman-Monteith performance. *Agricultural Water Management*.
- Todorovic, M., Karic, B., & Pereira, L. S. (2013). Reference evapotranspiration estimates with limited weather data: Application of FAO-56 PM methods. *Agricultural Water Management*.
- McVicar, T. R., et al. (2012). Global review and synthesis of trends in observed terrestrial near-surface wind speeds. *Journal of Hydrology*.
- Al-Farajat, M., et al. (2021). Groundwater challenges and management in North Africa: A case study of Libya. *Hydrogeology Journal*.
- El-Gammudi, A. S., et al. (2018). Climate change impacts on water resources and agriculture in Libya: A review. *International Journal of Water Resources*.
- Saad, A. S., et al. (2020). Evaluation of reference evapotranspiration methods under arid conditions: Case study of Libya. *Journal of Arid Environments*.
- Pereira, L. S., et al. (2020). Crop evapotranspiration: Update with revised combined FAO56 Penman-Monteith and dual crop coefficient approaches. *Agricultural Water Management*.
- Varga-Haszonits, Z., Szalka, É., & Szakál, T. (2022). Determination of reference evapotranspiration using Penman-Monteith method in case of missing wind speed data under subhumid climatic condition in Hungary. *Atmospheric and Climate Sciences*, 12(2), 173–183.