

## Mathematical Model for Estimating Daily Evaporation In Syrian Plateau Coast Using Gene Expression Programming

Dr. Ghatfan Ammar<sup>\*</sup>  
Dr. Monzer Hammad<sup>\*\*</sup>  
Maria Abbas<sup>\*\*\*</sup>

(Received 7 / 5 / 2019. Accepted 9 / 9 / 2019)

### □ ABSTRACT □

The evaporation is one of the basic components of the hydrologic cycle. It is necessary to estimate accurately it for the development and management of water resources, it affects the amount of runoff, the capacity of surface reservoirs, and the plant's need for water, and it requires knowledge of many climatic variables. Although, there are many empirical formulas available for estimation of evaporation, but their performances are not all satisfactory due to the complicated nature of the evaporation process. Therefore, this research aims to develop a mathematical model to estimate the daily evaporation in the Syrian coast of plateau using available climatic data, taken from five climatic stations distributed over the entire studied area and located at different altitudes. For this the model was built using gene expression programming. Different models were evaluated according to the model inputs. The statistical parameters used to evaluate the accuracy of the proposed model were: Root Mean Squared Error (RMSE) and correlation coefficient (R). The study showed that the model including temperature, relative humidity, solar radiation and elevation is the best for estimating daily evaporation in the Syrian coast. The RMSE and R values were respectively (0.525mm/day) and (0.944).

The study recommends expanding the use of gene expression programming in hydrological studies, and compares with artificial intelligence methods.

**Keywords:** Evaporation, Gene expression programming, Estimation.

---

<sup>\*</sup>Professor, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. ghatfan62@gmail.com.

<sup>\*\*</sup>Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. mounzerhammad@gmail.com

<sup>\*\*\*</sup>PhD student, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. maria.abbass1985@gmail.com.

## نموذج رياضي لتقدير التبخر اليومي في المنطقة السهلية في الساحل السوري باستخدام برمجة التعبير الجيني

د. غطفان عمار\*

د. منذر حماد\*\*

ماريا عباس\*\*\*

(تاريخ الإيداع 7 / 5 / 2019. قُبل للنشر في 9 / 9 / 2019)

### □ ملخص □

يعتبر التبخر مكوناً رئيسياً للدورة الهيدرولوجية، ومن الضروري تقديره بدقة من أجل تنمية وإدارة الموارد المائية، فهو يؤثر على كمية الجريان، وحجم التخزين السطحي، وعلى الاحتياج المائي للنبات. ويتطلب تقديره معرفة العديد من العناصر المناخية. على الرغم من أن هناك صيغاً تجريبية متوفرة لتقدير التبخر، لكن بعض هذه الطرائق صالحة فقط في ظروف مناخية محددة ولا يمكن تطبيقها في ظروف مختلفة. لذلك فإن هذا البحث يهدف لوضع نموذج رياضي لتقدير التبخر اليومي في المنطقة السهلية في الساحل السوري باستخدام بيانات مناخية متوفرة، أخذت من خمس محطات مناخية موزعة على كامل مساحة المنطقة المدروسة ومتوزعة على ارتفاعات مختلفة. من أجل ذلك فقد بني النموذج باستخدام برمجة التعبير الجيني. وتم تقييم نماذج مختلفة باختلاف مدخلات النموذج. وكانت المعايير الإحصائية المستخدمة لتقييم دقة النموذج المقترح هي: جذر متوسط مربع الخطأ (RMSE) ومعامل الارتباط (R)، وقد بينت الدراسة أن النموذج المتضمن درجة الحرارة والرطوبة النسبية والإشعاع الشمسي والارتفاع، هو الأفضل لتقدير التبخر اليومي المنطقة السهلية في الساحل السوري، حيث كانت قيمة (RMSE=0.525mm/day) وقيمة  $R = 0.944$ .

توصي الدراسة بالتوسع في استخدام برمجة التعبير الجيني في الدراسات الهيدرولوجية، ومقارنتها مع طرائق الذكاء الاصطناعي المختلفة.

الكلمات المفتاحية: التبخر، برمجة التعبير الجيني، تقدير.

\* أستاذ - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. ghatfan62@gmail.com .

\*\* أستاذ مساعد - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. mounzerhammad@gmail.com .

\*\*\* طالبة دكتوراه - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. maria.abbass1985@gmail.com .

**مقدمة:**

التبخر هو العملية التي يتم فيها تحويل المياه السائلة إلى بخار. ويعتبر التبخر مكوناً رئيسياً للدورة الهيدرولوجية، ومن الضروري تقديره بدقة من أجل تنمية وإدارة الموارد المائية، فهو يؤثر على كمية الجريان، وحجم التخزين السطحي، وعلى الاحتياج المائي للنبات. [1]

يقدّر التبخر بالطرائق المباشرة، متمثلةً بحوض التبخر، والذي يوفر قياساً للتأثير المتكامل، للإشعاع الصافي، والرياح، ودرجة الحرارة، والرطوبة، على التبخر، من المسطحات المائية المفتوحة. والطرائق غير المباشرة، متمثلةً بالصيغ التجريبية، التي تستخدم البيانات المناخية (حرارة، رطوبة، إشعاع شمسي وسرعة رياح) لتقدير التبخر. بعض الطرائق صالحة فقط في ظروف مناخية محددة ولا يمكن تطبيقها في ظروف مختلفة. [1]

في الآونة الأخيرة برزت تقانات الذكاء الاصطناعي، مما حفّز الباحثين على استخدام هذه التقانات في عمليات النمذجة الرياضية لمختلف المشكلات الهندسية، بما في ذلك عملية التبخر، حيث طوّر Terzi, O. and Keskin, M. E. (2005) نموذجاً لتقدير التبخر اليومي من بحيرة Egirdir، باستخدام برمجة التعبير الجيني (GEP)، حيث استخدمت درجة حرارة الهواء، الإشعاع الشمسي والرطوبة النسبية، كمدخلات لبناء النموذج، وتمت مقارنة نتائج النموذج مع قيم التبخر اليومي المقدر من معادلة بنمان. بينت النتائج إمكانية اعتماد نموذج GEP (الذي يتطلب بيانات مناخية أقل من معادلة بنمان) كبديل لمعادلة بنمان، حيث أعطى النموذج أعلى قيمة لمعامل التحديد وأخفض قيمة لمتوسط مربع الخطأ 0.95 و 0.125 على الترتيب. [3]

بحث Kisi, O. (2009) في دقة ثلاث نماذج للشبكات العصبية الاصطناعية (بيرسبترون متعددة الطبقات (MLP)، والشبكات العصبية ذات الأساس الشعاعي (RBNN)، والشبكات العصبية ذات الانحدار المعمم (GRNN))، لتقدير التبخر اليومي في كاليفورنيا، باستخدام البيانات المناخية اليومية من درجة حرارة الهواء، الإشعاع الشمسي، سرعة الرياح، الضغط والرطوبة. وتمت مقارنة هذه الطرائق مع طريقة (SS) Stephens Stewart، حيث استُخدم جذر متوسط مربع الخطأ (RMSE)، متوسط الخطأ المطلق (MAE) ومعامل التحديد ( $R^2$ ) كمعايير إحصائية لتقييم دقة النماذج. بينت النتائج أن الرطوبة هي العنصر الأكثر تأثيراً على تقدير التبخر. والإشعاع الشمسي له تأثير أكبر من سرعة الرياح والضغط الجوي. كما أن الضغط الجوي لم يحسن من دقة النموذج. واستناداً إلى نتائج المقارنة، تبين أن MLP و RBNN يمكن استخدامهما بنجاح لنمذجة عملية التبخر باستخدام البيانات المناخية المتاحة، إضافةً إلى تفوق الطرائق الثلاث على طريقة (SS). [4]

هدفت الدراسة التي قام بها Rahimikhoob, A. (2009) إلى تقدير التبخر الإنائي  $E_{pan}$  في حوض Khuzestan جنوب غرب إيران، عن طريق بناء نموذج شبكة عصبية اصطناعية (بيرسبترون متعددة الطبقات)، باستخدام البيانات اليومية لدرجات الحرارة العظمى والصغرى، والإشعاع الشمسي الواصل إلى الغلاف الجوي. كما تمت معايرة معادلة Hargreaves لتحويل التبخر-نتح من العشب إلى تبخر إنائي بتطبيق نفس البيانات المستخدمة في تدريب الشبكة العصبية. ومن خلال مقارنة نتائج نموذج ANN ومعادلة Hargreaves المعايرة، مع قيم التبخر الإنائي لسلسلة زمنية لم تدخل في بناء النماذج المقترحة، بينت النتائج توافقاً جيداً مع القيم المقاسة لـ  $E_{pan}$ ، حيث كانت قيم ( $R^2$ ) و (RMSE) أقل من 0.88 و 1.2mm/day على الترتيب، ولكن أعطى نموذج ANN تقديرات أفضل من معادلة Hargreaves المعايرة. [5]

اقترح Terzi, O. and Keskin, M. E. (2010) نماذج لتقدير التبخر اليومي من بحيرة Egirdir في تركيا باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية ANN، اعتماداً على أربعة متغيرات مناخية متمثلة بدرجة حرارة الهواء والماء وضغط الهواء والإشعاع الشمسي. بينت الدراسة أن النموذج الذي تتضمن مدخلاته درجة حرارة الهواء ودرجة حرارة الماء والإشعاع الشمسي هو الأفضل، حيث أعطى أقل قيمة لمتوسط مربع الخطأ (MSE) وأكبر قيمة لمعامل التحديد ( $R^2$ ). ومن أجل تقييم إمكانية نموذج ANN المقترح، تمت مقارنته مع طرائق Hamon، Brutsaert– Stricker، Priestley–Taylor و Makkink. حيث بينت النتائج تفوق نموذج ANN على تلك الطرائق في تقدير التبخر من بحيرة Egirdir [6].

كما قام Shiri, J. and Kisi, O. (2011) بتطوير نماذج مختلفة لتقدير التبخر الإنائي اليومي في Khozestan جنوب غرب إيران، باستخدام برمجة التعبير الجيني GEP، نظام الاستدلال العصبي الضبابي التكيفي ANFIS والشبكات العصبية ANN، وذلك اعتماداً على بيانات التبخر اليومي، درجة الحرارة، الإشعاع الشمسي، الرطوبة النسبية وسرعة الرياح. كما تمت مقارنة هذه النماذج مع نموذجي (SS) Stephen–Stewart و Christiansen. بينت نتائج المقارنة تفوق نماذج GEP، ANFIS و ANN على نموذجي SS و Christiansen، وتفوق GEP على ANFIS و ANN، لقدرته على إعطاء تعبير رياضي يربط بين التبخر والمتغيرات المناخية، إضافة إلى دقته العالية. وأشارت الدراسة إلى أن إضافة درجة حرارة الهواء، الإشعاع الشمسي، سرعة الرياح، والرطوبة النسبية بتأخر زمني ليوم واحد، يزيد من دقة نماذج GEP، ANFIS و ANN [7].

قام Ghorbani, M. A. et al (2012) بنمذجة التبخر اليومي باستخدام البرمجة الجينية (GP)، اعتماداً على خمسة متغيرات مناخية تتمثل بدرجة حرارة الهواء، الإشعاع الشمسي، سرعة الرياح، الضغط والرطوبة، لمحطتين مناخيتين في كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية. ومن خلال مقارنة وتقييم أداء نماذج GP مع أداء نموذجين جاهزين للذكاء الاصطناعي (ANN) و (ANFIS)، ونموذج (SS) Stephen–Stewart، باستخدام مجموعة من المعايير الإحصائية متضمنة معامل التحديد ( $R^2$ )، متوسط مربع الخطأ (MSE)، متوسط الخطأ النسبي المطلق (MARE)، تبين أن نموذج GP قادر على نمذجة التبخر بدقة جيدة، وهو بديل عملي لنماذج الذكاء الاصطناعي والنماذج التقليدية الأخرى [8].

طوّر Ali, J. and Saraf, S. (2015) نموذجاً لتقدير التبخر باستخدام الشبكات العصبية الصناعية و تقنية الانحدار الخطي المتعدد (MLR) لتقدير التبخر في Rajasthan، Udaipur، في الهند. تم تقييم هذه النماذج باستخدام مجموعة من المعايير الإحصائية، ووُجد أن تقدير التبخر باستخدام ANN يعطي نتائج أفضل من نموذج (MLR) [9].

### أهمية البحث وأهدافه:

التبخر ظاهرة معقدة وغير خطية وتتأثر بالعديد من العناصر المناخية مثل درجة الحرارة والرطوبة النسبية وسرعة الرياح وساعات السطوع الشمسي..... الخ. ومن الضروري تقديره بدقة من أجل تنمية وإدارة الموارد المائية، فهو يؤثر على كمية الجريان، وحجم التخزين السطحي، وعلى الاحتياج المائي للنبات. لذلك فإن هدف هذه الدراسة هو بناء نموذج رياضي لتقدير التبخر اليومي في المنطقة السهلية في الساحل السوري باستخدام برمجة التعبير الجيني (GEP)، وذلك اعتماداً على بيانات مناخية متوفرة، أُخذت من خمس محطات مناخية (محطة سد بلوران، محطة سد 16 تشرين،

محطة اللاذقية، محطة سد السخابة ومحطة سد الباسل)، موزعة على كامل مساحة المنطقة المدروسة ومتوزعة على ارتفاعات مختلفة.

### منطقة البحث

تقع المنطقة الساحلية بين خطي عرض / 34° 34' / ، / 35° 75' / شمالاً وخطي طول / 35° 42' / ، / 36° 26' / شرقاً، والمساحة الكلية للمنطقة  $5070 \text{ km}^2$ . يحدها من الشمال لواء اسكندون المحتل ومن الجنوب لبنان، وتمتد منطقة الدراسة بشكل موازي لشاطئ البحر بطول 120km (عدا منطقة اسكندرون) وبعرض وسطي 45km، ويتدرج الارتفاع من المنسوب ( 0 ) عند شاطئ البحر، ويصل حتى ارتفاع 1350m في المرتفعات الجبلية وبعض القمم إلى ارتفاع 1575m. ويوضح الشكل رقم (1) منطقة الساحل السوري، وتوزع المحطات المناخية الست، والتي أخذت منها البيانات المناخية المستخدمة في هذه الدراسة (حرارة، رطوبة، إشعاع شمسي وتبخر). حيث استخدمت البيانات المأخوذة من محطة سد الثورة للتحقق من دقة النماذج التي تم بناؤها.

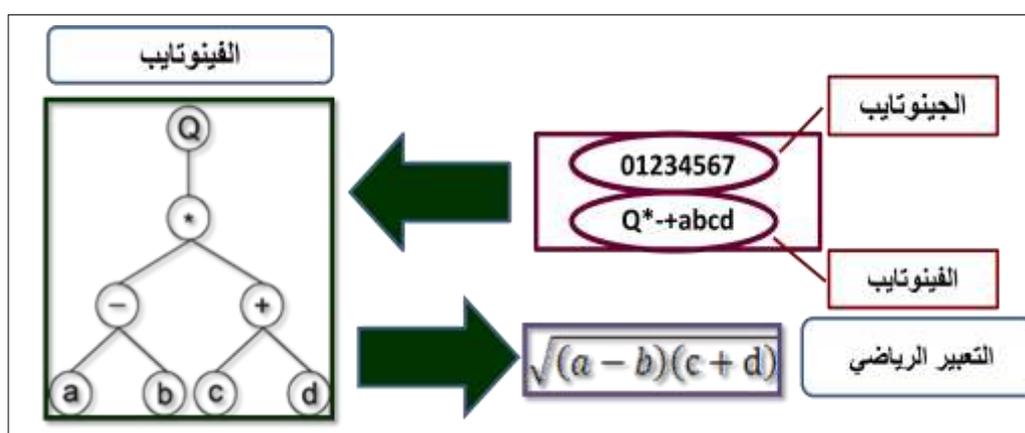


الشكل (1): منطقة الدراسة (الساحل السوري)

### طرائق البحث ومواده:

تعتمد هذه الدراسة على إنشاء نموذج رياضي باستخدام برمجة التعبير الجيني (GEP)، حيث تعرّف برمجة التعبير الجيني بأنها خوارزمية تطورية، تخلق نماذج حاسوبية، هذه النماذج الحاسوبية عبارة عن تراكيب شجرية معقدة تتعلم وتتكيف بتغيير حجمها، أشكالها وتركيبها مثل الكائن الحي. ترمز هذه البرامج، مثل الكائنات الحية، في كروموسومات خطية بسيطة بطول ثابت. لذلك تعتبر GEP نظام جينوتايب-فينوتايب، الجينوتايب لإجراء التعديلات الجينية، والفينوتايب لاستكشاف البيئة والتكيف معها [11][12][13][14][15]. وتعتبر GEP الأكثر تطوراً بين

الخوارزميات التطورية [11][13]، اشتقت طرائق بنائها من الخوارزميات الجينية (GA) والبرمجة الجينية (GP) [10][16][17]. حيث تأخذ برمجة التعبير الجيني من الخوارزمية الجينية الكروموسومات الخطية بطول ثابت، وتأخذ من البرمجة الجينية التراكيب الشجرية (كيانات غير خطية) بأحجام وأشكال مختلفة. تعمل الكروموسومات الخطية في نظام GEP كجينوتايب، بينما تمثل التراكيب الشجرية الفينوتايب. تكمن أهمية نظام الجينوتايب-الفينوتايب في خلق الكروموسومات البسيطة للبرامج، بحيث تضمن الصلابة الهيكلية للبرامج المرمزة، وتكون التعابير الناتجة عنها تعابير صحيحة. ويتم استنتاج التعبير الرياضي من الفينوتايب باستخدام لغة Karva، يوضح الشكل (2) مثلاً عن الجينوتايب والفينوتايب في GEP. [15]



الشكل (2): مثال عن الجينوتايب والفينوتايب في GEP

من أهم ميزات برمجة التعبير الجيني:

1- لا تفترض برمجة التعبير الجيني (GEP) أي شكل مسبق لتابع الحل مقارنةً مع طرائق النمذجة التقليدية، (كما في نموذج الانحدار) [13].

2- توجد برمجة التعبير الجيني (GEP) معادلة أو صيغة للعلاقة بين متغيرات الدخل والخرج [13].

3- تتميز برمجة التعبير الجيني (GEP) بقدرتها على اختيار متغيرات الدخل والتي تساهم بشكلٍ فعال في النموذج وتهمل تلك التي لا تساهم، ويشكلٍ خاص عندما تُستخدم متغيرات الدخل ذات التأخر الزمني. هذه المتغيرات تُستخدم بعد ذلك كمدخلات للتنبؤات الفعلية [13].

تلخص الخطوات الأساسية لبرمجة التعبير الجيني كما يلي: [16][17]

- 1- اختيار مجموعة المحطات الطرفية ومجموعة الدوال لخلق الكروموسومات للمجتمع الأولي.
- 2- اختيار تابع الملائمة.
- 3- اختيار البنية الهيكلية للكروموسومات.
- 4- اختيار تابع الوصل.
- 5- اختيار العمليات الجينية (الطفرة، التبديل، العكس وإعادة التجميع).

## النتائج والمناقشة:

## 1- اختيار بارامترات بناء النماذج في برمجة التعبير الجيني

تتضمن المرحلة الأولى لبناء النماذج باستخدام برمجة التعبير الجيني إدخال البيانات واختيار مجموعة الدوال لخلق الكروموسومات الأولية. من أجل ذلك أدخلت البيانات اليومية المتوافرة (درجة الحرارة الوسطية اليومية ( $T_{avg}$ ), الرطوبة النسبية الوسطية اليومية ( $RH_{avg}$ ), عدد ساعات السطوع الشمسي اليومي ( $n$ ), والتبخر الإنثائي اليومي ( $E$ )), لخمس محطات موزعة على كامل مساحة المنطقة المدروسة، ومتوزعة على ارتفاعات مختلفة، متمثلةً بمحطة سد 16 تشرين، سد بللوران، اللاذقية، سد السخابية وسد الباسل، للفترة الممتدة من 2007/10/1 إلى 2017/12/31. وسوف يتم تحقيق المعادلة التي سنحصل عليها، على بيانات محطة سد الثورة التي لم تدخل في بناء النماذج، ومقارنة نتائجها مع نتائج معادلة إيفانوف، ويوضح الجدول (1) مواقع المحطات المناخية وارتفاعها عن سطح البحر. أما بالنسبة لمجموعة الدوال المختارة فكانت ( $+, -, \times, \div, \ln(x), e^x, x^2, x^3, \tanh$ ). تتضمن المرحلة الثانية اختيار تابع الملائمة، وهنا تم اختيار جذر متوسط مربع الخطأ لتقويم الملائمة. وفي المرحلة الثالثة تم اختيار البنية الهيكلية للكروموسومات، عدد الكروموسومات 50، طول الرأس في الجين 8، وعدد الجينات في كل كروموسوم 3. أما المرحلة الرابعة فتتضمن اختيار تابع الوصل الذي يربط الجينات ضمن كل كروموسوم، ومن الممكن أن يكون الجمع أو الضرب، وهنا تم اختيار الجمع (+). تتضمن المرحلة الأخيرة اختيار العمليات الجينية، مثل الطفرة والتبديل وإعادة التجميع والعكس. ويوضح الجدول (2) البارامترات الخاصة ببناء النموذج.

الجدول (1): مواقع المحطات المناخية وارتفاعها عن سطح البحر

المحطة	الارتفاع (m)	خط الطول	خط العرض
سد بللوران	86	35° 54' 04"	35° 45' 53"
سد 16 تشرين	127	35° 55' 03"	35° 38' 21"
اللاذقية	3	35° 46' 07"	35° 32' 26"
سد الثورة	163	35° 58' 54"	35° 32' 07"
سد السخابية	182	36° 01' 38"	35° 19' 40"
سد الباسل	141	36° 04' 17"	34° 45' 35"

الجدول (2): بارامترات بناء النموذج في GEP

البارامتر	قيمه	البارامتر	قيمه
عدد الكروموسومات	50	معدل الطفرة	0.00138
طول الرأس	8	معدل التبديل	0.00277
عدد الجينات في كل كروموسوم	3	معدل العكس	0.00546
تابع الملائمة	RMSE	معدل إعادة التجميع	0.00277

**2- بناء وتقويم النماذج**

قسمت البيانات الداخلة في إعداد النماذج إلى مجموعتين، بنسبة 70% لمجموعة التدريب و30% لمجموعة الاختبار، حيث تم تحليل الحساسية لمدخلات النموذج، وتحديد البارامترات الأكثر تأثيراً على تقدير التبخر. وذلك من خلال إعداد أحد عشر نموذجاً لتقدير التبخر اليومي، باستخدام مدخلات مختلفة، موضحة في الجدول (3). وقِيمت دقة النماذج اعتماداً على جذر متوسط مربع الخطأ RMSE ومعامل الارتباط R. حيث بيّنت النتائج أن درجة الحرارة هي العنصر الأكثر تأثيراً على تقدير التبخر، يليها عدد ساعات السطوع الشمسي، بينما كانت الرطوبة النسبية الأقل تأثيراً. كما تبين أن درجة الحرارة وعدد ساعات السطوع الشمسي هما العنصران الأكثر تأثيراً على تقدير التبخر اليومي، حيث بلغت قيمة كلٍ من RMSE و R (1.08mm/day) و (0.74) لمجموعة التدريب، و (1.09mm/day) و (0.75) لمجموعة الاختبار. وعند إدخال ارتفاع كل محطة مناخية عن سطح البحر، كأحد مدخلات النموذج، حسن ذلك بشكل كبير من أداء النماذج. ويُفسر ذلك، بأن الارتفاع هو أحد العوامل التي تؤثر على الضغط الجوي، الذي يؤثر بدوره على التبخر. حيث أنه كلما زاد الارتفاع عن سطح البحر قل الضغط والعكس صحيح. وهناك علاقة عكسية بين مقدار الضغط الجوي وسرعة عملية التبخر، حيث يؤدي ارتفاع الضغط الجوي إلى التقليل من سرعة انطلاق جزيئات الماء إلى الجو، بينما يساعد انخفاضه على زيادة هذه السرعة، وبالتالي زيادة نشاط التبخر. [18]

يوضح الجدول (3) قيم المعاملات الإحصائية لكل نموذج على الترتيب، حيث بيّنت النتائج أن النموذج رقم (11) الذي تتضمن مدخلاته متوسط درجة الحرارة، ومتوسط الرطوبة النسبية، وعدد ساعات السطوع الشمسي والارتفاع، هو النموذج الأفضل لتقدير التبخر اليومي في المنطقة السهلية في الساحل السوري، حيث بلغت قيمة كلٍ من RMSE و R (0.525mm/day) و (0.944) لمجموعة التدريب، و (0.55mm/day) و (0.944) لمجموعة الاختبار.

**3- اختبار وتحقق النموذج:**

من أجل اختبار دقة وصلاحيّة النماذج التي تم التوصل إليها، والتحقق من إمكانية تعميمها على منطقة الساحل السوري، استُخدمت البيانات اليومية لمحطة سد الثورة، للفترة الممتدة من 1/1/2009 إلى 30/11/2009، حيث لم يتم إدخال هذه البيانات في بناء النماذج السابقة. تقع هذه المحطة على ارتفاع 163m فوق مستوى سطح البحر، وتضمنت البيانات المأخوذة من المحطة، القيم اليومية لدرجات الحرارة، والرطوبة النسبية والتبخر. وبناءً على البيانات المتوفرة، تم اختبار أداء النموذج رقم (10)، والذي تضمنت مدخلاته (درجة الحرارة اليومية والرطوبة النسبية اليومية والارتفاع)، من خلال مقارنة قيم التبخر المحسوبة من النموذج (GEP-10) مع قيم التبخر الفعلي، المقاسة بواسطة حوض التبخر الأمريكي نوع A، وقيم التبخر المحسوبة باستخدام معادلة إيفانوف. وبما أن معادلة إيفانوف تعطي قيم التبخر الشهري، لذلك جمعت قيم التبخر اليومي الفعلي، وقيم التبخر المحسوبة من النموذج (GEP-10) لكل شهر، من أجل المقارنة. يوضح الجدول (5) قيم التبخر الشهري الفعلي، والقيم المحسوبة من النموذج (GEP-10) ومن معادلة إيفانوف، وقيم الخطأ النسبي المقابلة لكل نموذج.

الجدول (3): القيم الإحصائية (R, RMSE) الخاصة بكل نموذج

مجموعة الاختبار		مجموعة التدريب		مدخلات النموذج	رقم النموذج
R	RMSE (mm/day)	R	RMSE (mm/day)		
0.67	1.21	0.66	1.21	$T_{avg}$	1
0.57	1.365	0.53	1.36	N	2
0.1	1.59	0.12	1.63	$RH_{avg}$	3
0.75	1.09	0.74	1.08	$T_{avg}, n$	4
0.66	1.22	0.67	1.19	$T_{avg}, RH_{avg}$	5
0.55	1.4	0.525	1.36	$RH_{avg}, n$	6
0.74	1.09	0.75	1.08	$T_{avg}, RH_{avg}, n$	7
0.72	1.09	0.71	1.15	$RH_{avg}, n, Z$	8
0.933	0.582	0.93	0.606	$T_{avg}, n, Z$	9
0.934	0.58	0.93	0.6	$T_{avg}, RH_{avg}, Z$	10
0.944	0.55	0.944	0.525	$T_{avg}, RH_{avg}, n, Z$	11

يوضح الجدول (4) معادلة الحساب الخاصة بالنماذج (9)، (10)، (11)، والتي أعطت أفضل النتائج.

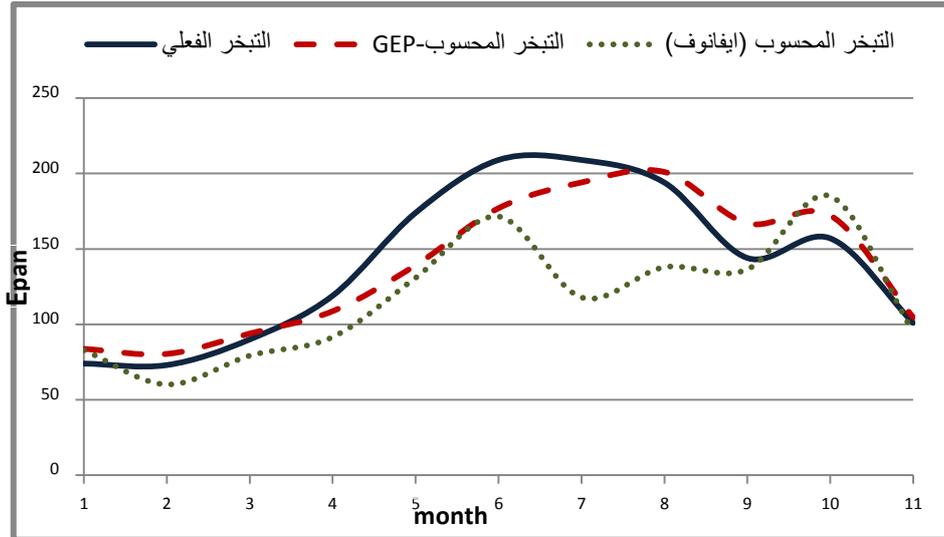
الجدول (4): معادلة الحساب الخاصة بكل نموذج

معادلة الحساب	مدخلات النموذج	رقم النموذج
$E_{pan} = 0.16T_{avg} + \tanh\left(\frac{T_{avg} \cdot n}{Z - 86.32}\right) - 0.083 \cdot n$ $* \tanh(2.38 - Z)$	$T_{avg}, n, Z$	9
$E_{pan} = \exp[0.055 \cdot T_{avg} \cdot \tanh(0.146 \cdot Z)]$ $+ 10^{-6}(T_{avg} + 5.5)^4$ $+ \tanh\left[\tanh\left(\frac{RH_{avg} + Z}{RH_{avg} - Z} + \frac{Z - 9.135}{T_{avg}}\right)\right]$	$T_{avg}, RH_{avg}, Z$	10
$E_{pan} = 0.2\left(\frac{T_{avg} - 15.33}{Z - 6.09} + T_{avg}\right) + \tanh\left(236.6\frac{n^2}{Z^2}\right)$ $+ \tanh(Z - T_{avg} - RH_{avg} - 12.43)$ $- \tanh(Z)$	$T_{avg}, RH_{avg}, n, Z$	11

الجدول (5): قيم التبخر الشهري الفعلي، والمحسوب من النموذج (GEP-10) ومعادلة إيفانوف، وقيم الخطأ النسبي المقابل لكل نموذج، لمحطة سد الثورة.

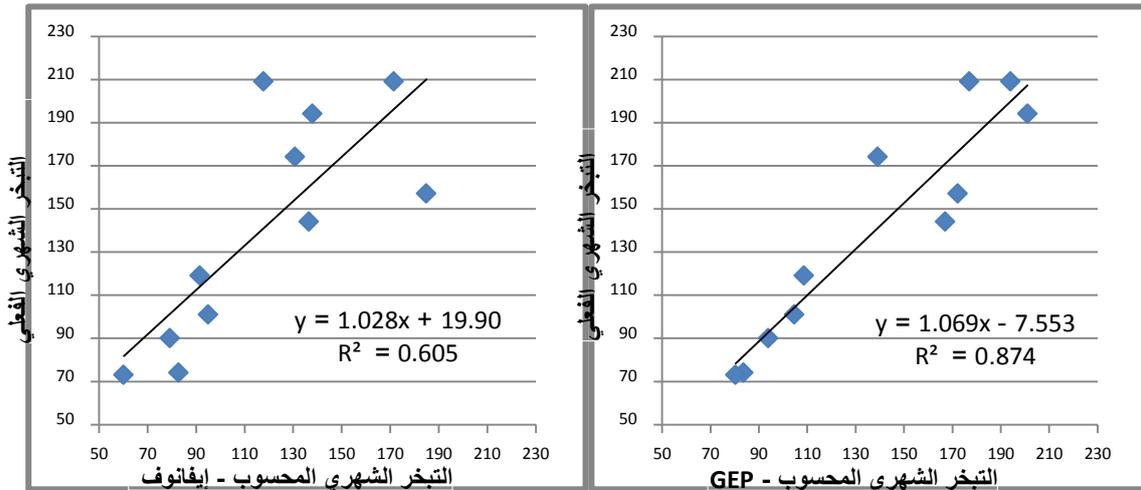
الخطأ النسبي لإيفانوف %	الخطأ النسبي لـ GEP %	التبخر المحسوب من معادلة إيفانوف	التبخر المحسوب من نموذج (GEP-10)	التبخر الفعلي المقيس	متوسط الرطوبة النسبية الشهرية	متوسط الحرارة الشهري	الشهر
11.9	13.17	82.8	83.7	74	64.7	11.1	2009-1
-17.6	10.16	60.1	80.4	73	74.5	11.2	2009-2
-11.95	4.36	79.2	93.9	90	70.3	13.5	2009-3
-23.05	-8.62	91.5	108.7	119	71.3	17.1	2009-4
-24.81	-20.0	130.8	139.2	174	65.5	20.9	2009-5
-17.93	-15.3	171.5	177	209	63	25.75	2009-6
-43.6	-7.13	117.9	194.14	209	75.5	26.7	2009-7
-28.9	3.62	137.9	201	194	72.2	27.5	2009-8
-5.25	15.98	136.4	167.	144	69.8	24.8	2009-9
17.81	9.69	184.9	172.2	157	58.5	24.5	2009-10
-5.92	3.62	95	104.6	101	69.2	16.4	2009-11

نلاحظ من الجدول (5) أن النموذج (GEP-10) يعطي قيمة أقرب، إلى القيم الفعلية المقيسة، من معادلة إيفانوف، حيث كانت أكبر قيمة للخطأ النسبي في نموذج (GEP-10) (20%)، والتي قابلها خطأ نسبياً مقداره (24.8%) في معادلة إيفانوف. في حين وصلت قيمة الخطأ النسبي في معادلة إيفانوف إلى (43.6%)، وقابلها خطأ نسبياً مقداره (7.13%) في نموذج (GEP-10). ويعتبر أداء النموذج جيداً عندما لا تتجاوز قيمة الخطأ النسبي 20% [1]. يوضح الشكل (3) قيم التبخر الشهري الفعلي، والمحسوبة من النموذج (GEP-10) ومن معادلة إيفانوف.



الشكل (3): قيم التبخر الشهري الفعلي، والمحسوب من النموذج (GEP-10)، ومن معادلة إيفانوف.

وتبين الأشكال (4) و (5) العلاقة بين القيم المقاسة للتبخر الشهري الفعلي، وقيم التبخر الشهري المحسوبة من نموذج (GEP-10) ومعادلة إيفانوف.



الشكل (4): العلاقة بين قيم التبخر الفعلي وقيم التبخر المحسوبة من نموذج (GEP-10).  
الشكل (5): العلاقة بين قيم التبخر الفعلي وقيم التبخر المحسوبة من معادلة إيفانوف.

نلاحظ مما سبق تفوق نموذج GEP على معادلة إيفانوف في تقدير التبخر الإنائي، حيث بلغت قيمة معامل التحديد للعلاقة بين قيم التبخر الفعلي وقيم التبخر المحسوبة من نموذج (GEP-10)، ( $R^2 = 0.874$ )، في حين كانت قيمة معامل التحديد للعلاقة بين قيم التبخر الفعلي وقيم التبخر المحسوبة من معادلة إيفانوف ( $R^2 = 0.604$ ). وهذا يؤكد على إمكانية اعتماد نموذج (GEP-10) بدلاً من معادلة إيفانوف، لتقدير التبخر الإنائي في المنطقة السهلية في الساحل السوري.

## الاستنتاجات والتوصيات:

- إمكانية تقدير التبخر الإنثائي اليومي في المنطقة السهلية في الساحل السوري باستخدام معادلات GEP، اعتماداً على البيانات اليومية لدرجة حرارة الهواء، الإشعاع الشمسي، الرطوبة النسبية وارتفاع المنطقة.
- إن درجة حرارة الهواء هي العنصر الأكثر تأثيراً على تقدير التبخر، يليها عدد ساعات السطوع الشمسي، بينما كانت الرطوبة النسبية العنصر الأقل تأثيراً.
- إدخال ارتفاع كل محطة مناخية عن سطح البحر، كأحد مدخلات النموذج، حسن بشكل كبير من أداء النماذج.
- بمقارنة قيم التبخر الفعلي، مع قيم التبخر المحسوبة من نموذج (GEP-10)، وقيم التبخر المحسوبة من معادلة إيفانوف، لاحظنا تفوق نموذج (GEP-10) على معادلة إيفانوف في تقدير التبخر. حيث لم تتجاوز قيمة الخطأ النسبي %20 في نموذج (GEP-10)، في حين وصلت إلى %43 عند الحساب بمعادلة إيفانوف.
- واعتماداً على نتائج البحث نوصي بما يلي:
- إمكانية اعتماد نموذج (GEP-10) بدلاً من معادلة إيفانوف في تقدير التبخر الإنثائي في المنطقة السهلية في الساحل السوري.
- بناء نموذج لتقدير التبخر في المواقع غير المقيسة في الساحل السوري، والتي لا تحتوي أي قياسات مناخية.
- التوسع باستخدام برمجة التعبير الجيني لدراسة العديد من المسائل المتنوعة بغرض تحقيق الإدارة المثلى للموارد المائية.
- تنفيذ قياسات ميدانية للمناطق ذات الارتفاعات أعلى من 200m وحتى 1400m للتحقق من كفاءة النموذج لكامل الساحل السوري.

## المراجع:

- [1] ALLEN et al. *Crop Evapotranspiration - Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage, Paper No. 56, Rome, 1998, 300.
- [2] ESLAMIAN, S. S.; GOHARI, S. A.; BIABANAKI, M. and MALEKIAN, R. *Estimation of Monthly Pan Evaporation Using Artificial Neural Networks and Support Vector Machines*. Journal of Applied Sciences, Vol. 8, 2008, 3497-3502.
- [3] TERZI, O and KESKIN, M. E. *Evaporation Estimation Using Gene Expression Programming*. Journal of Applied Sciences, Vol. 5, No. 3, 2005, 508-512.
- [4] KISI, O. *Daily pan evaporation modeling using multi-layer perceptrons and radial basis neural networks*. Hydrological Processes, Vol. 23, 2009, 213-233.
- [5] RAHIMIKHOOB, A. *Estimating daily pan evaporation using artificial neural network in a semi-arid environment*. Theor Appl Climatol, Vol. 98, 2009, 101-105.
- [6] TERZI, O.; KESKIN, M. E. *Comparison of Artificial Neural Network and Empirical Equations to Estimate Daily Pan Evaporation*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 59, 2010, 215-225.
- [7] SHIRI, J.; KISI, O. *Application of Artificial Intelligence to Estimate Daily Pan Evaporation Using Available and Estimated Climatic Data in the Khuzestan Province (South Western Iran)*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 137, No. 7, 2011, 412-425.
- [8] GHORBANI, M. A.; SINGH, V. P.; DANESHFARAZ, R. and KASHANI, M. H. *Modeling Pan Evaporation Using Genetic Programming*. Journal of Statistics: Advances in Theory and Applications, Vol. 8, No. 1, 2012, 15-36.

- [9] ALI, J. and SARAF, S. *Evaporation Modeling by Using Artificial Neural Network and Multiple Linear Regression Technique*. International Journal of Agricultural and Food Science, Vol. 5, No. 4, 2015, 125-133.
- [10] Al-Aboodi, A.H. *Estimation of Monthly Mean Reference Evapotranspiration Using Gene Expression Programming*. Kufa Journal of Engineering, Vol. 8, No. 1, January 2017, 37–50.
- [11] Bărbulescu, A. and Băutu, E. *Time Series Modeling Using an Adaptive Gene Expression Programming Algorithm*. International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Science, Vol. 3, No. 2, 2009, 85-93.
- [12] Savic, D. A.; Walters, G. A. and Davidson, J. W. *A Genetic Programming Approach to Rainfall-Runoff Modelling*. Water Resources Management, Vol. 13, 1999, 219–231.
- [13] Ferreira, C. *Gene Expression Programming: A New Adaptive Algorithm for Solving Problems*. Complex Systems, Vol. 13, No. 2, 2001, 87–129.
- [14] Jayawardena, A. W.; Muttill, N. and Fernando, T.M.K.G. *Rainfall-Runoff Modelling Using Genetic Programming*. 1841–1847.
- [15] Mitchell, M. *An Introduction to Genetic Algorithm*. The MIT Press, 1996, 158.
- [16] Ferreira, C. *Automatically Defined Functions in Gene Expression Programming*. Springer-Verlag, Vol. 13, 2006, 21–56.
- [17] Ferreira, C. *Gene Expression Programming: Mathematical Modeling by an Artificial Intelligence*. Springer, Berlin, 2006, 478pp.
- [18] OZGUR, E. and KOCAK, K. *The Effects of the Atmospheric Pressure on Evaporation*. Acta Geobalcanica, Vol. 1, No. 1, 2015, 17-24.