

تقدير الوارد المائي اليومي لسد 16 تشرين باستخدام البرمجة الجينية

د. غطفان عبد الكريم عمّار *

علي بسام سليم **

(تاريخ الإيداع 22 / 11 / 2020. قُبل للنشر في 15 / 7 / 2021)

□ ملخص □

ساهم الذكاء الاصطناعي بفروعه المتعددة بدور فعال في نمذجة أكثر دقة للمشكلات المدروسة بهدف الوصول إلى نتائج مقبولة، واعتمد الباحثون على البرمجة الجينية في دراساتهم الهيدرولوجية (مثل التنبؤ بالفيضان، تصميم وتشغيل المنشآت الهيدروليكية، تقدير حجم الجريان الوارد نحو السدود وغيرها). مما ساعد في تخطيط وإدارة الموارد المائية المتاحة، تشكل منطقة حوض سد 16 تشرين منطقة نشاط زراعي وسكاني مما يدفعنا لدراسة الواردات المائية لتحقيق التوازن بينها وبين الاحتياجات.

اعتمدت الدراسة على البرمجة الجينية في تقدير الوارد المائي اليومي لبحيرة سد 16 تشرين انطلاقاً من بيانات الهطل المطري باعتباره العنصر الرئيس في تشكيل الموارد المائية، وحقق النموذج الأفضل الذي يحتوي على 2500 فرد في كل جيل وعدد أجيال 1500 ونسبة تشكيل الطفرات بلغت 30%، قيمة ارتباط تقارب 99% الخطأ النسبي في التنبؤ بحجم الجريان الوارد بلغ 7.8%، كما أشارت الدراسة إلى دور أتمتة القياسات المائية في تقليل أخطاء القراءات.

الكلمات المفتاحية: البرمجة الجينية، الارتباط، الطفرة، العبور، تركيب شجري، سد 16 تشرين.

*أستاذ - قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - سورية. Email: ghatfan62@gmail.com

**طالب ماجستير - قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - سورية. Email: alisleem908@gmail.com

Estimation of Daily Water Income for 16 TISHREEN Dam Using Genetic Programming

Dr. Ghatfan A. Ammar*
Ali B. Saleem**

(Received 22 / 11 / 2020. Accepted 15 / 7 / 2021)

□ ABSTRACT □

Artificial intelligence with its multi-parts contribute effectively in modelling the studying problems more accurately to get acceptable results, the researchers depending on genetic programming in their hydrological studies (like flood forecast, design and operation of hydraulic structure, estimation of water income for dams, etc..) that help in planning and management the available water resources, 16 TISHREEN dam basin constitutes an area of agricultural and human activity which motivate us to study the water resources to balance between it and the demands.

In this paper we use genetic programming to estimate daily water income for 16 TISHREEN dam lake from the daily rainfall data which is the main factor of formation of water resources, the best model which use 2500 individuals, 1500 generations and a high ratio of mutation is 30%, the correlation factor reached to 99% and the average relative error in forecasting of the income water is 7.8%. The study indicates the importance of automating water measurements to reduce reading errors.

Keywords: Genetic Programming, Correlation, Mutation, Crossover, Tree Structure, 16Tishreen Dam.

*Professor- Department of Water Engineering and Irrigation- Faculty of Civil Engineering- Tishreen University, Lattakia, Syria. Email: ghatfan62@gmail.com

**Postgraduate Student- Department of Water Engineering and Irrigation- Faculty of Civil Engineering- Tishreen University, Lattakia, Syria. Email: alisleem908@gmail.com

مقدمة:

يعتمد تخطيط وإدارة أحواض الأنهار في المقام الأول على التقييم والتنبؤ الدقيقين لمياه الجريان السطحي، وزاد اهتمام الباحثين في هذا المجال بسبب ازدياد الطلب على المياه والحاجة إلى تحقيق الملاءمة بين الموارد المتاحة والطلب المتزايد. إلا أن نقص بيانات قياس الجريان السطحي يعيق عملية التخطيط والتنمية ولذلك لجأ الباحثون إلى بيانات الهطل المطري المتوفرة بشكل يناسب القيام بعمليات التقييم والتنبؤ.

ساهم التطور التكنولوجي في مجال البرمجيات بمساعدة الباحثين على نمذجة أكثر دقة للمشكلات المدروسة وتمثيل الظواهر، وكان للذكاء الصناعي دور كبير في حل المسائل المختلفة بدقة عالية والحصول على نتائج أفضل. وانطلاقاً من ذلك فقد حاول العديد من الباحثين نمذجة العلاقة بين الهطل والجريان Rainfall-Runoff في مناطق مختلفة من العالم وترافقت هذه المحاولات مع تقدم تقنيات الذكاء الاصطناعي وحققت نتائج جيدة ومن هذه التقنيات؛ البرمجة الجينية (الوراثية) (Genetic Programming) وهي إحدى فروع عائلة الخوارزميات التطورية تستخدم آليات مستوحاة من التطور البيولوجي مثل الاستنساخ والتزاوج والطفرة والانتخاب الطبيعي.

تتميز البرمجة الجينية بالقدرة على اختيار بيانات ومعلومات أكثر في عملية تطبيقها متفوقة على باقي تقنيات الذكاء الصناعي، حيث تحتاج بعض هذه الطرق كمية محدودة من المدخلات لتطبيقها فيما يتطلب البعض الآخر معرفة واسعة للخصائص الفيزيائية للحوض المدروس لاستخدامها، وتمكننا هذه التقنية من الحصول على نتائج تواكب الطفرات الحاصلة في المخطط البياني الناتج عن الهطل والتغيرات المختلفة الحاصلة.

زاد اهتمام الباحثين بنمذجة العلاقة بين الهطل المطري والجريان لما تحمله من طيف واسع للاستخدام في التنبؤ بالجريان النهري وتقدير حجم الجريان الوارد نحو السدود وكذلك تصميم وتشغيل المنشآت الهيدروليكية وتقدير حجم الجريان للأحواض غير المقيسة ومحاولة التنبؤ بأوقات الفيضان وتأثيره. [1].

اعتمد الباحثون في دراستهم للعلاقة بين الهطل والجريان على الطرق الإحصائية واستطاعوا الوصول إلى علاقة رياضية ونتائج جيدة. وهدفت الدراسة التي أجراها الباحثون (عمار وآخرون؛ 2015) لايجاد العلاقة بين الهطل المطري وجريان نهر مرقية إلى محاولة استكمال القياسات غير المتوفرة في الحوض، عبر إجراء دراسة إحصائية تحليلية لبيانات الهطل المطري وغزارة النهر باستخدام برنامج Minitab، وتوصلت الدراسة إلى علاقة رياضية بين الهطل والجريان تمثل فيها الأمطار مايزيد عن (87%) من التغيرات الحاصلة في الجريان كما لم تتجاوز نسبة الخطأ بين القيم المحسوبة من خلالها والقيم المقيسة الخطأ المسموح وأوصى الباحثون بضرورة زيادة البيانات المقيسة للتوصل إلى نتائج أكثر دقة. [2].

قارن الدارسون (Aytek et al., 2008) بين تقنيتين من تقنيات الذكاء الصناعي للحصول على العلاقة بين الهطل والجريان، الأولى استخدمت الشبكات العصبونية عبر نموذجين من الشبكات والثانية استخدمت البرمجة الجينية، درس الباحثون حوض نهر (Juniata) في ولاية بنسلفينيا الأمريكية واعتمدوا بيانات هطل يومية وخلصت هذه الدراسة إلى علاقات رياضية تربط بين قيم جريان وهطل مختلفة وقت القياس منها يصل حتى يومين سابقين وحققت البرمجة الجينية عبر تقنية برمجة التعبير الجيني (GEP) قيمة معامل ارتباط حوالي (90.5%) في حين لم تتجاوز قيم الارتباط في نموذجي الشبكات العصبونية قيمة (90%) وبين الباحثون على قدرة البرمجة الوراثية (الجينية) على حل المشكلات الهيدرولوجية المختلفة مثل المشكلة المدروسة. [3].

أشار (Whigham and Crapper, 2001) إلى نجاح تطبيق البرمجة الوراثية على المشكلات المعقدة وغير الخطية وحيث يكون الشكل العام للحل غير معروف مقدماً وتمثيل الظواهر الطبيعية الخاضعة للظروف المختلفة بما فيها الطفرات غير المتوقعة، وفسرت الدراسة ما يقارب (90%) من العلاقة بين الهطل والجريان في حوض نهر (Teifi) البريطاني. [4].

فيما وجد الباحثون (Alweshah et al., 2017) أن البرمجة الوراثية متعددة الجينات (MGPP) فعالة بالتنبؤ في الهطل المطري، انطلاقاً من بيانات الهطل اليومية وحقق النموذج قيمة الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء (RMSE) (Root Mean Squared Error) وصلت حتى (20%) وبمعامل ارتباط قوي هو (99%)، واختار الباحثون (Hadi et al., 2018) حوض يقع في جنوب شرق تركيا لدراسة قدرة النموذج الذي يعتمد التقنية السابقة على التنبؤ بالجريان الشهري السطحي، وتأثره بكل من الهطل المطري ودرجة الحرارة والتبخر، وتبرز النقطة الأكثر أهمية في هذه الدراسة ما عرضته حول إمكانية تمثيل التذبذب في المخطط البياني للتدفقات حيث يتم التنبؤ بقيمة الذروة بشكل جيد، اعتبر (Mehr et al., 2019) أن هذه التقنيات الجديدة توفر انخفاضاً إضافياً في الخطأ المطلق بالإضافة إلى زيادة ملحوظة في معامل الكفاءة. [5,6,7].

أهمية البحث وأهدافه:

تتبع الأهمية من الدور الحيوي لهذه العملية في تصميم وتشغيل مختلف المشاريع سواء المائية أو غيرها، ووقع الاختيار على حوض سد 16 تشرين بما يشمل من منشآت مائية ونشاطات بشرية وخاصة عند قسمه المنخفض من حوضه والحاجة لمعرفة الوارد المائي للسد وارتباط هذا الوارد بعمل السد وتحديد منسوب تخزينه.

يساهم السد في مشاريع إرواء الأراضي الزراعية التي يعمل فيها عدد كبير من سكان القرى المجاورة، ومن أجل تحسين الاستفادة من مياه السد وتحسين شروط الاستفادة من هذا المورد الهام يجب دراسة الهطل المطري باعتباره المصدر الأساسي لواردات هذا السد ولذلك من الضروري دراسة العلاقة بين الهطل والجريان وتقدير قيمة الوارد المائي إلى السد.

يهدف البحث إلى استنتاج العلاقة بين الهطل المطري والجريان النهري في حوض سد 16 تشرين باستخدام البرمجة الجينية، ثم تقدير قيمة الوارد المائي اليومي إلى السد بعد الحصول على قيم الجريان القادم إليه.

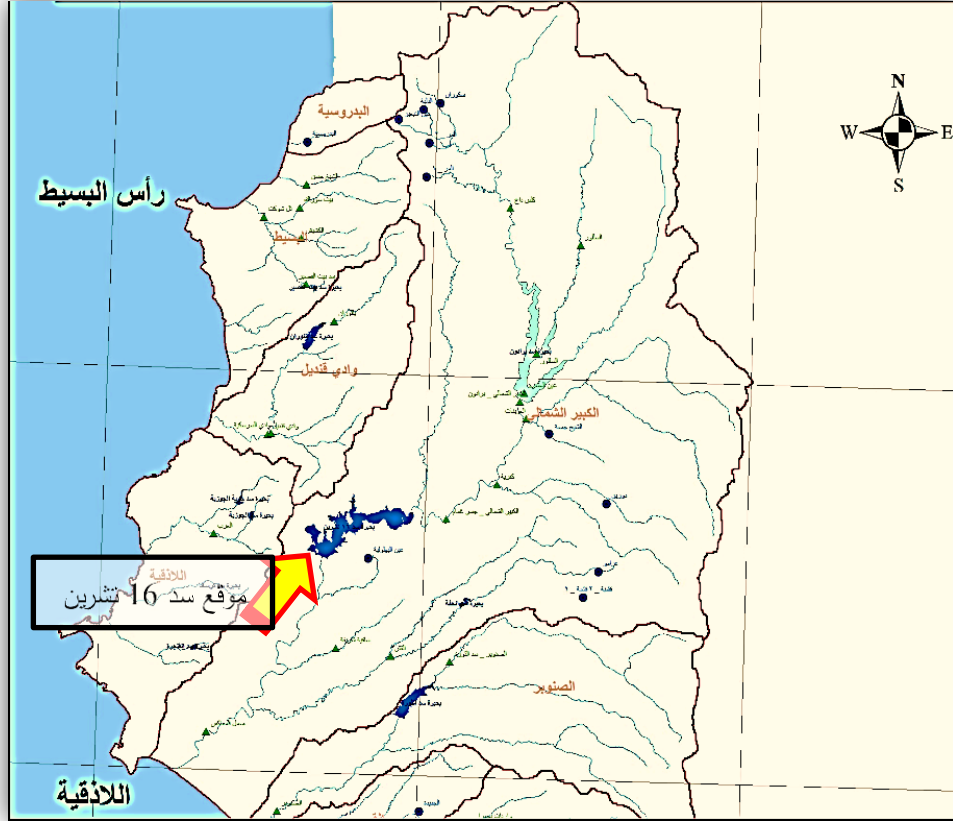
طرائق البحث ومواده:

تتضمن منطقة الدراسة حوض سد 16 تشرين وهو جزء من حوض نهر الكبير الشمالي الواقع شمال الساحل السوري، ينبع نهر الكبير الشمالي من المنطقة الشمالية الغربية للجبال الساحلية، وعلى ارتفاع يتجاوز 1100 متر قاطعاً مسافة 89 كم، ليصب في جنوب مدينة اللاذقية مباشرة في البحر المتوسط. [8]. أنشئ عليه سد 16 تشرين لأغراض الري والشرب بطاقة تخزينية 210 مليون متر مكعب. يبعد سد 16 تشرين حوالي 20 كم عن مدينة اللاذقية، ويشكل السد خلفه حوضاً مساحته تقارب 800 كيلومتر مربع، ومحيطه حوالي 211 كم كما أن طول الحوض 44 كم، بميل 20% حيث الارتفاع الوسطي 524 م، ويبين الشكل (1) حوض نهر الكبير الشمالي وموقع سد 16 تشرين.

تقسم منطقة الدراسة حسب التضاريس إلى ثلاث مناطق:

- منطقة جبلية: تتراوح ارتفاعاتها بين 600-1700 م.
- منطقة تلالية: تتراوح ارتفاعاتها بين 100-600 م.
- منطقة سهلية: تتراوح ارتفاعاتها بين 0-100 م.

تنتشر في المناطق المرتفعة من الحوض غابات حراجية كثيفة الأشجار وصخور خضراء كتيمة، فيما تغطي أشجار الزيتون والحمضيات وبعض المحاصيل القسم الآخر من الحوض.[9].

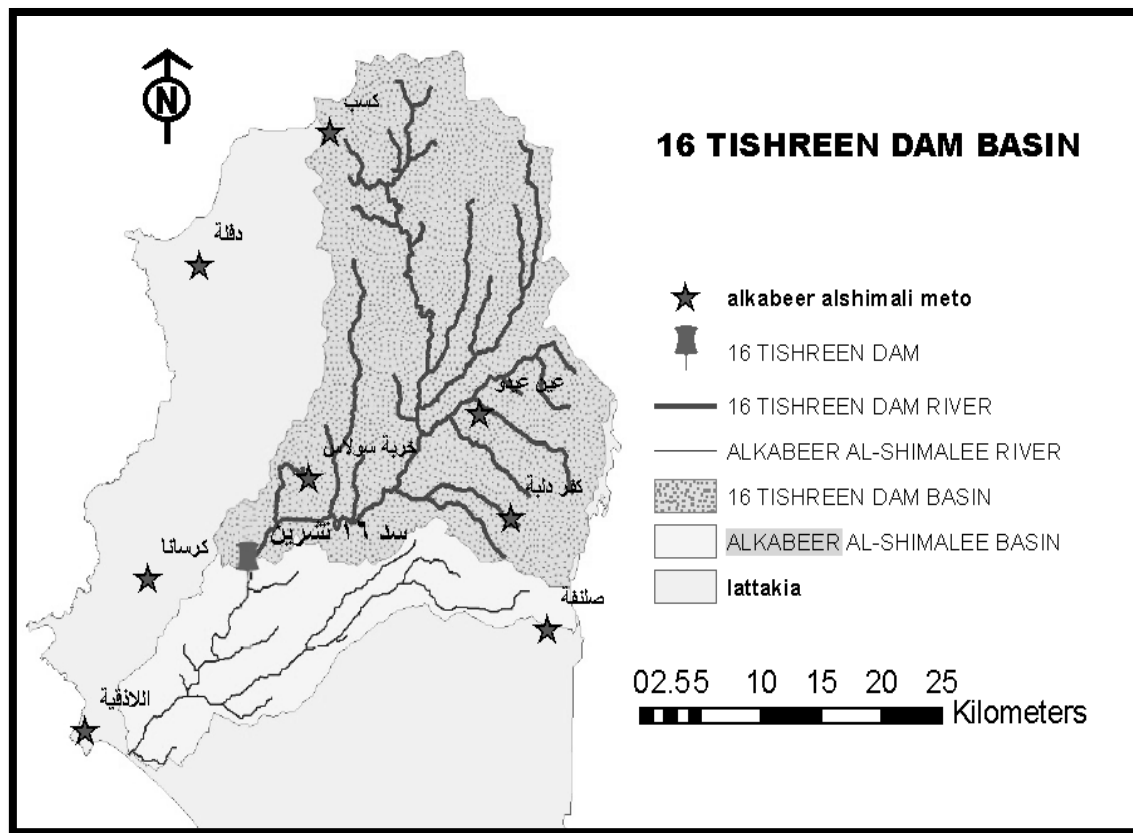


الشكل رقم (1): حوض نهر الكبير الشمالي وموقع السد.

تشكل المنطقة الساحلية بسلاسلها الجبلية حاجزاً بوجه الغيوم المتشكلة من البحر الأبيض المتوسط وهذا ما يفسر أن أعلى كمية سنوية للهطل تكون في الجبال الساحلية، يعد فصل الشتاء هو الأكثر هطولاً حيث تهطل حوالي 55% من كمية الهطل السنوي والباقي موزع في فصلي الربيع والخريف ويكون الهطل نادراً في فصل الصيف، يشكل الهطل المطري المصدر الرئيس للجريان السطحي في منطقة الدراسة وتؤثر كمية الهطل ومدته وتوزعه بشكل مباشر على الغزارة السطحية للمجري المائية، تنتشر محطات قياس الهطل المطري في منطقة البحث وأغلبها محطات تقيس الهطل اليومي.

جرى اعتماد معطيات الهطل اليومي في محطات (سد الحفة، 16 تشرين، خربة سولاس، عطيرة، البيضاء، كنسبا) للأعوام الهيدرولوجية 2006-2009 حيث استخدمت طريقة تيسين للحصول على قيم الهطل اليومية للحوض

المدرّوس ويبين الشكل (2) توزع هذه المحطات على مساحة الحوض وحدود مزلعات تيسين وفي الجدول (1) تظهر معلومات محطات الهطل المعتمدة.



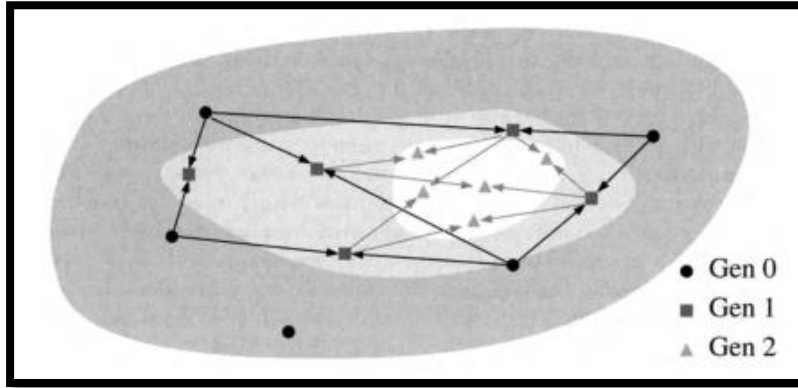
الشكل رقم (2): منطقة البحث ومحطات قياس الهطل المطري.

الجدول رقم (1): جدول بيانات محطات الهطل.

المساحة الجزئية km ² حسب تيسين	الهطل السنوي Mm	ارتفاع المحطة M	الاحداثيات		اسم المحطة
			خطوط العرض	خطوط الطول	
237.3	961	395	N 35°36'22"	E 36°01'45"	سد الحفة
208.7	975	665	N 35°44'39"	E 36°09'50"	كنسبا
106.3	766	400	N 35°41'26"	E 35°58'25"	خربة سولاس
248.4	1255	670	N 35°50'47"	E 36°02'20"	عطيرة
146.5	998	355	N 35°47'07"	E 36°06'10"	البيضاء
103	892	70	N 35°55'03"	E 35°38'11"	سد 16 تشرين

البرمجة الجينية (Genetic Programming) هي إحدى فروع عائلة الخوارزميات التطورية (Evolutionary Algorithms)، تستخدم آليات مستوحاة من التطور البيولوجي مثل الاستنساخ والتزاوج والطفرة والانتخاب الطبيعي. يتم تطبيق نفس المفهوم الدارويني الذي يعتبر أن البقاء للأصلح من خلال العوامل الوراثية.

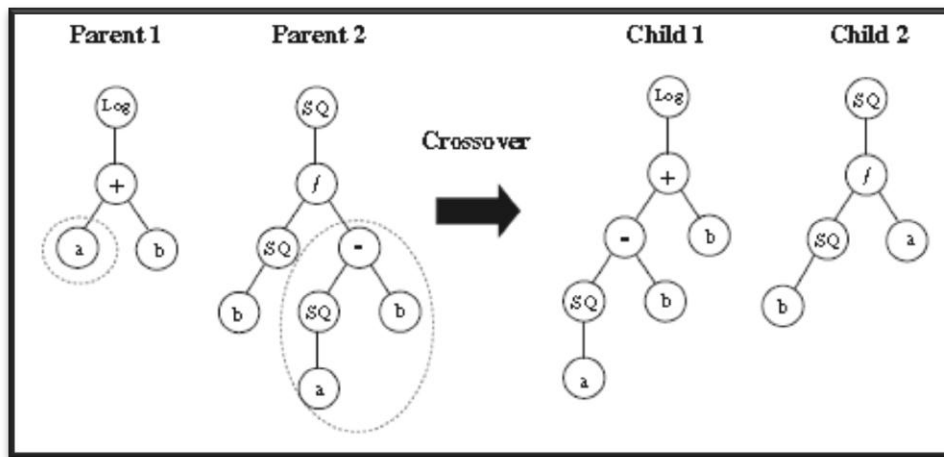
تكتشف البرمجة الجينية طريقة عمل كل برنامج عبر تشغيله ونقارن سلوكه حتى نصل إلى سلوك نموذجي وهذا واضح في الشكل (3)، قد نكون مهتمين على سبيل المثال في معرفة كيف تنتج البرامج سلاسل زمنية او التحكم في عملية صناعية، عملية المقارنة يتم تحديدها بقيمة رقمية تسمى الكفاءة (Fitness) هذا البرنامج (الجيل) الذي نختاره بدقة للتكاثر وانتاج برامج جديدة للجيل الجديد عبر العمليات الاساسية للبرمجة التي تستخدم لانتاج برامج جديدة من الحالية، المقصود بالبرامج هو حل للمشكلات التي ندرسها فالبرمجة الجينية تشكل حلاً للمشكلة وتختبرها وفق عامل الكفاءة وثم توجد حلاً جديداً بشكل أفضل من سابقه عبر ما نسميه في علم الوراثة بالتصالب (العبور) والطفرة وتختبره من جديد وهكذا حتى نصل إلى أفضل حل [10].



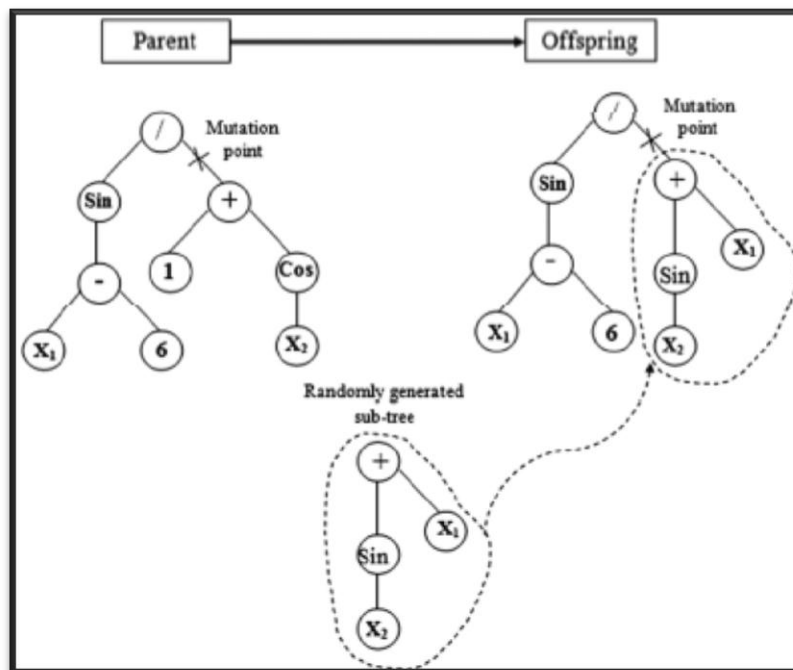
الشكل رقم (3): سلوك البرمجة الجينية للوصول إلى الحل الأمثل.

العمليات الجينية الأساسية للبرمجة الجينية هي التكاثر المناسب لمعامل الكفاءة وإعادة التركيب أو الاستساخ، أي تنسخ عملية التكاثر الأفراد في المجموعة الوراثية في الجيل التالي من السكان بما يتناسب مع لياقتهم في التعامل مع بيئة المشكلة. هذه العملية هي المحرك الأساسي لبقاء الداروينية واستساخها للأصلح. عملية العبور هي عملية تزواج تعمل على اثنين من التراكيب الأبوية وتنتج اثنين من الأبناء باستخدام أجزاء من كل من الوالدين. تخلق عملية العبور ذرية جديدة عن طريق تبادل الأشجار الفرعية (أي القوائم الفرعية) بين الوالدين. نظرًا لأن الأشجار الفرعية بأكملها يتم تبديلها، فإن عملية التقاطع تنتج دائمًا تراكيب صالحة بغض النظر عن نقاط التقاطع ويوضح الشكل (4) مثالاً عن عملية العبور.

تتوقف هذه الخوارزمية عندما نصل إلى أكبر عدد من الأجيال تم إنتاجه أو الوصول إلى أفضل حل من خلال الدالة المثلى. إذا كان التوقف بسبب الوصول إلى أكبر عدد مسموح من الأجيال قد يكون الحل الأمثل غير متحقق. تعتبر الطفرة في التراكيب الشجرية جزءاً من العمليات الوراثية حيث يجري اختيار عشوائي لنقطة طفرة في شجرة وتُسبَل الشجرة الفرعية المتجذرة هناك بشجرة فرعية تم إنشاؤها عشوائياً ويعرض الشكل (5) آلية حدوث الطفرة.



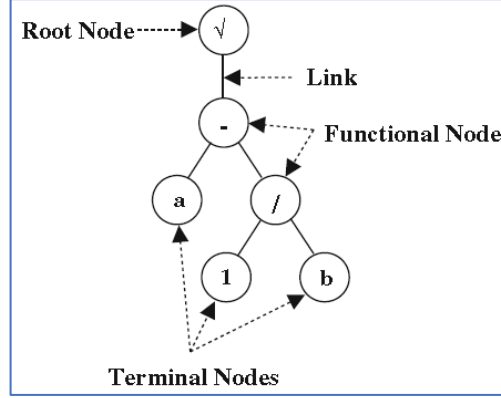
الشكل رقم (4): مثال يوضح آلية العبور.



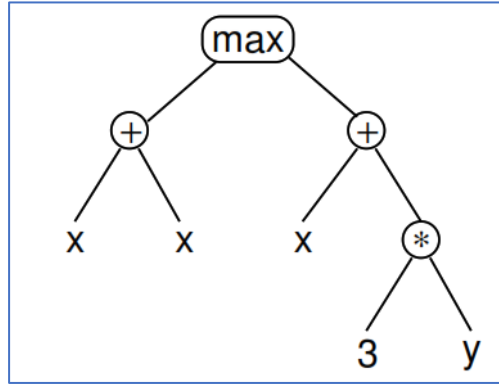
الشكل رقم (5): مثال يوضح آلية حدوث الطفرة.

ولنتمكن من تحقيق هذه الخطوات سوف نلجأ إلى تمثيل كل علاقة من العلاقات الرياضية على شكل تركيب يسمى (شجرة)، ولهذه الشجرة أغصان وعقد، الأغصان (Link) هي روابط بين العقد، أما العقد (Node) فنقسم إلى ثلاثة أشكال: عقدة الجذر (Root Node)، العقد الوظيفية (الأغصان) (Functional Node) وهي التي تحتوي على عناصر العمليات الحسابية وإشاراتها، والنوع الأخير هو العقد الطرفية (الأوراق) (Terminal Nodes) تتواجد في آخر الأغصان وغالبا ما تحتوي الثوابت أو المتغيرات. يوضح الشكل (6) كيفية

تمثل العلاقة الرياضية بشكل شجرة تجري عليها العمليات الوراثية، ويبين الشكل (7) عناصر التركيب الشجري ويمثل الفرد (التركيب) العلاقة التالية $(\sqrt{a - \frac{1}{b}})$.



الشكل رقم (7): تمثيل الفرد بشكل شجري.



الشكل رقم (6): التمثيل الشجري للتركيب
 $\max(2*x, x+3*y)$

تقوم عملية معالجة بيانات الهطل المطري والجريان السطحي الناتج عنها والذي يصب في بحيرة السد؛ على إيجاد علاقة رياضية بينها وذلك عبر استخدام تقنية البرمجة الجينية التي تمتلك القدرة على مواكبة الطفرات الحاصلة في تباين قيم الهطل، جرت المعالجة على بيانات الفصول الماطرة بعد حذف القيم الشاذة، ثم قمنا الحصول على قيم الواردات المائية للسد سوف نقوم بمقارنة النتائج مع البيانات المقيسة والتحقق من صحة النموذج، حيث لدينا قيم التدفقات اليومية الحوض الساكب وقيم الحجم اليومي الوارد إلى السد.

تعتمد عملية النمذجة في البرمجة الجينية على عدد من العوامل (البارامترات) التي تؤثر في شكل المعادلة الحاصلة ومن هذه البارامترات عدد الأجيال وعدد الأفراد في كل جيل ونسبتي حدوث الطفرات والعبور وكذلك عدد الأغصان في كل شجرة وعمق هذه الشجرة أي عدد الحدود الحسابية في المعادلة يمكننا تحديد شكل العمليات

الحسابية المستخدمة في تشكيل الأفراد، لدينا عدة نماذج تبين اختلاف جودة الحل مع اختلاف هذه البارامترات، وبعدها نختار الحل الأفضل الذي ينتج من بين الحلول.

سنجري استعراضاً لعدة نماذج تختلف بارامترات الحسابية وفق برمجية GPLAB في برنامج ماتلاب المتخصصة بالبرمجة الجينية، ويعرض الشكل (8) واجهة إدخال البيانات وبارامترات التشغيل للنماذج. وهذه النماذج هي:

☒ النموذج الأول: بدأت عملية النمذجة بعدد كبير من الأفراد في الجيل الواحد وهو 2500 فرد أي حجم كبير لكثافة الأفراد وهذا يعطي عدداً جيداً لخيارات العلاقة المطلوبة، وكان عدد الأجيال هو 1000 جيل ونسبة حدوث الطفرات هي 30% ونسبة العبور 90%، وحددنا عمق الشجرة الأعظمي 10 عقد أي عدد أغصانها الرئيسية وعدد التفرعات الكلية من هذه الأغصان هو 15 عقدة طرفية؛ يؤثر العاملان السابقان بشكل مباشر على جودة الحل حيث مع زيادة عدد العقد نحصل على حلول ذات حالات متعددة تستوعب الاختلافات والتباينات في الملاءمة بين المدخلات.

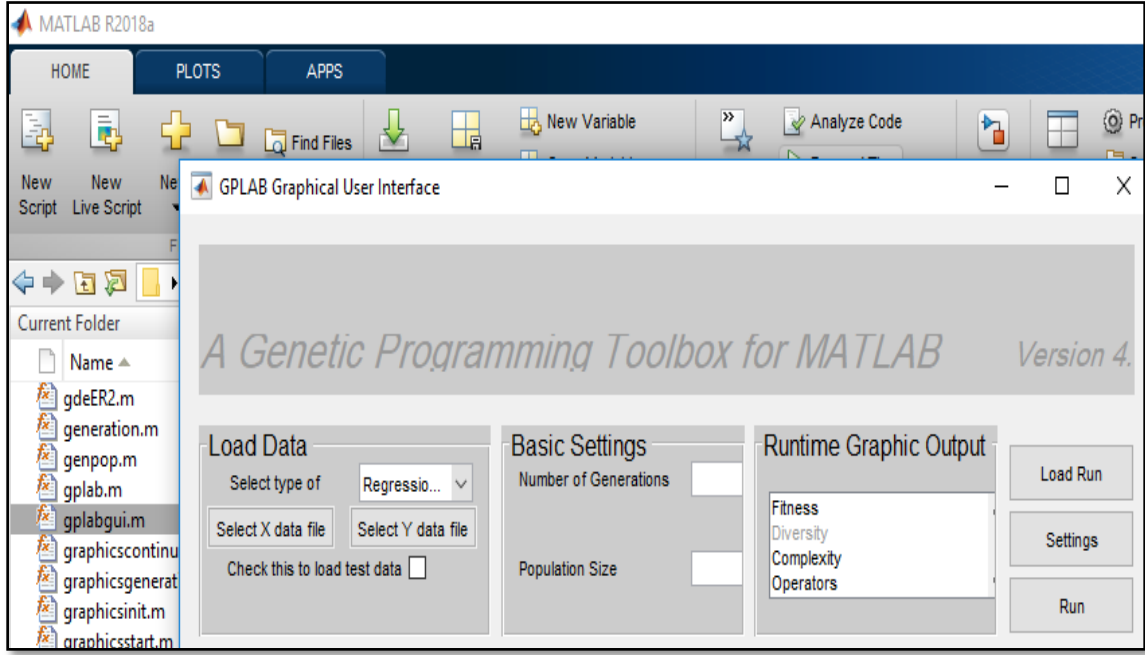
☒ النموذج الثاني: رفعنا عدد الأجيال في إلى 1500 جيل مع تخفيض عدد الأفراد في كل جيل إلى النصف أي 2500 فرد، وجرت زيادة نسبة العبور مع ثبات نسبة تشكيل الطفرات وأصبحت نسبة العبور 95% ونسبة حدوث الطفرات 30% وحافظنا على عدد العقد الرئيسية 10 عقدة والعقد الطرفية 15 عقدة.

☒ النموذج الثالث: في هذا النموذج عدلنا فقط عدد العقد الرئيسية بزيادة العقد إلى 12 عقدة وزيادة العقد الطرفية إلى 15 عقدة وهذا يعطي تمثيل أفضل للعلاقة.

يجري إدخال البيانات عبر وضعها في ملف (txt) ويجري فصل ملف بيانات الهطل المطري عن بيانات الجريان، وهذا ما تشترطه البرمجية المستخدمة في برنامج ماتلاب، ويبين الجدول (2) بارامترات كل نموذج.

الجدول رقم (2): نماذج التشغيل وبارامتراتهما.

بارامترات التشغيل	النموذج الأول	النموذج الثاني	النموذج الثالث
عدد الأجيال	1000	1500	1500
عدد الأفراد	2500	2500	2500
نسبة العبور %	90	95	95
نسبة الطفرات %	30	30	30
العقد الرئيسية	10	10	12
العقد الطرفية	15	15	15



الشكل رقم (8): واجهة إدخال البيانات وبارامترات تشغيل النموذج في MATLAB.

النتائج والمناقشة:

تبين نتائج النماذج السابقة اختلاف جودة الحل مع تغيير البارامترات وأعطت النماذج القيم التالية لمعاملات التحقق من معامل ارتباط بيرسون (R^2) ومتوسط الخطأ النسبي (Average Relative Error) وهذا واضح في الجدول (3).

الجدول رقم (3): نتائج تشغيل النماذج.

Time (min)	Average Relative Error (%)		Pearson's R^2 (%)		النموذج
	Test	Training	Test	Training	
10	24	28	95.7	93.4	النموذج الأول
11	22	29	97.6	93.8	النموذج الثاني
10	11.7	16.8	99	97	النموذج الثالث

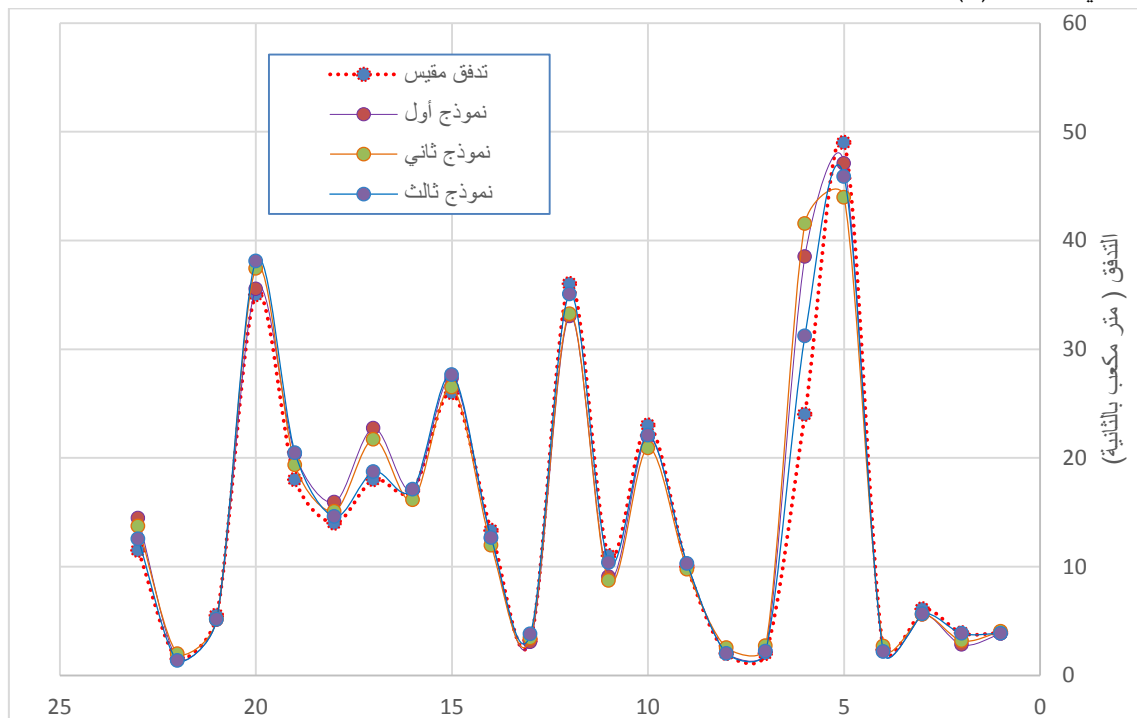
ويعرض الجدول التالي (4) بعضاً من قيم التدفق المحسوبة وفق كل نموذج:

الجدول رقم (4): مثال عن القيم المحسوبة من تشغيل النماذج.

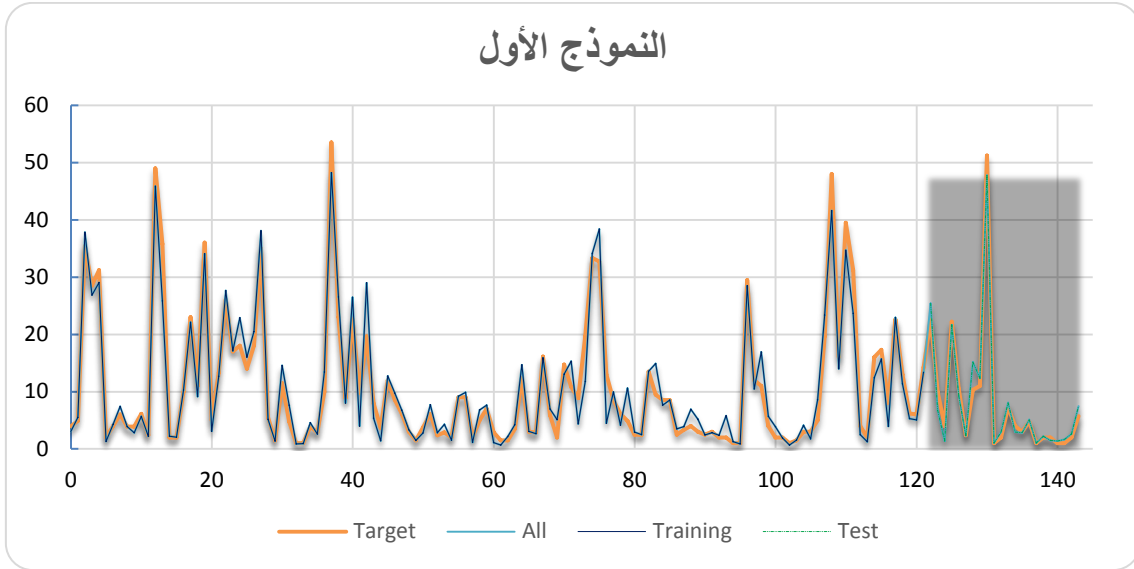
القيم المقاسة (m^3/sec)	القيم وفق النموذج الأول (m^3/sec)	القيم وفق النموذج الثاني (m^3/sec)	القيم وفق النموذج الثالث (m^3/sec)
3.900	3.818	4.038	3.861
3.900	2.824	3.198	3.861
6.100	5.612	5.589	5.669
2.350	2.214	2.676	2.184
49.000	47.090	43.965	45.862

35.800	38.501	41.561	31.200
2.000	2.245	2.702	2.217
2.000	2.057	2.536	2.011
10.000	10.212	9.750	10.270
23.000	21.929	20.923	22.079
11.000	9.081	8.712	10.380
36.000	33.029	33.247	35.080
4.000	3.079	3.413	3.800
13.300	12.603	11.964	12.665
26.000	27.322	26.490	27.654
17.000	17.018	16.132	17.104
18.000	22.722	21.717	18.720
14.000	15.929	15.094	14.600
18.000	20.335	19.347	20.458
35.000	35.550	37.432	38.090
5.500	5.111	5.150	5.166
1.500	1.479	1.991	1.347
11.500	14.474	13.717	12.540

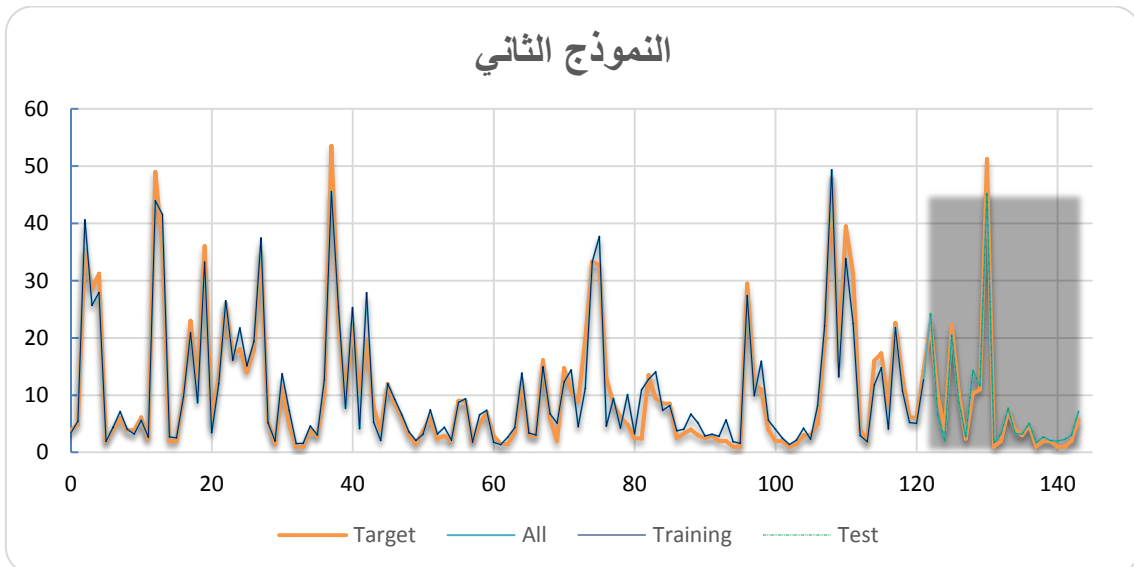
من نتائج المعايرة نجد أن النموذج الأفضل هو النموذج الثالث وتمثل الأشكال (9-10-11-12) نتائج المعايرة لكل نموذج، ثم نوجد قيم الحجوم اليومية الناتجة عن النموذج ونقارنها مع القيم المقاسة في بحيرة السد كما هو في الجدول (5).



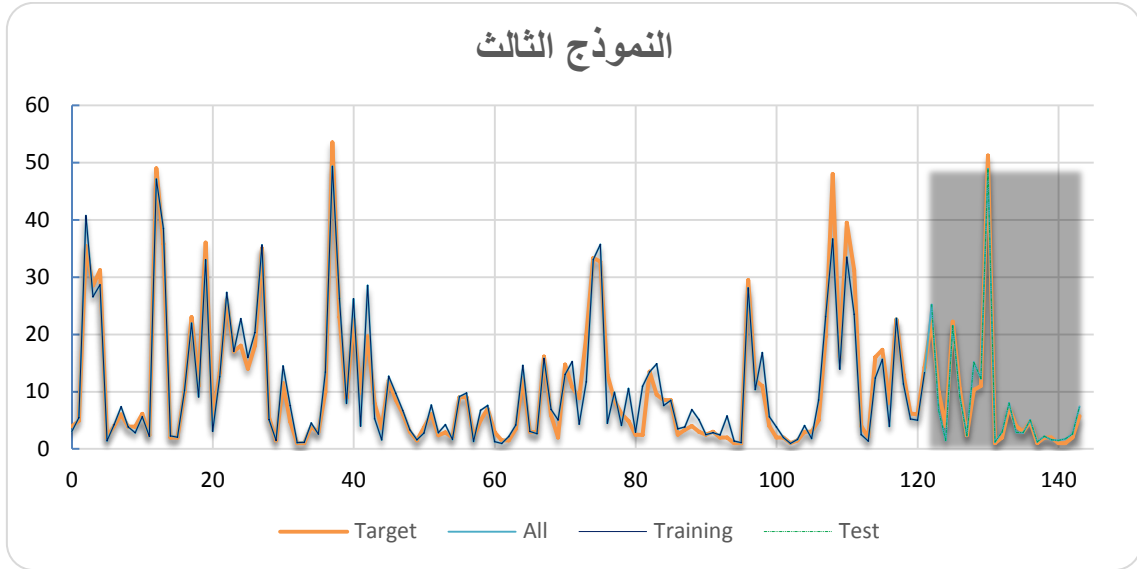
الشكل رقم (9): التمثيل البياني لبعض القيم المقاسة والمحسوبة وفق النماذج الثلاثة.



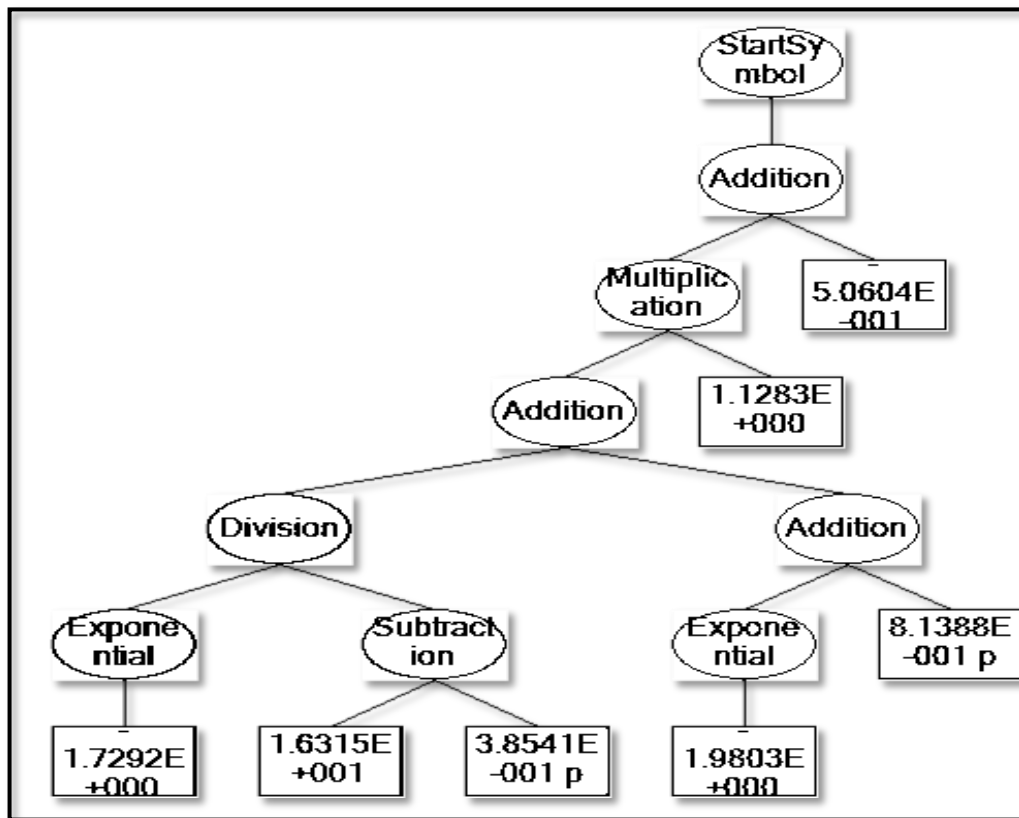
الشكل رقم (10): التمثيل البياني للقيم المقاسة والمحسوبة وفق النموذج الأول.



الشكل رقم (11): التمثيل البياني للقيم المقاسة والمحسوبة وفق النموذج الثاني.



الشكل رقم (12): التمثيل البياني للقيم المقاسة والمحسوبة وفق النموذج الثالث.

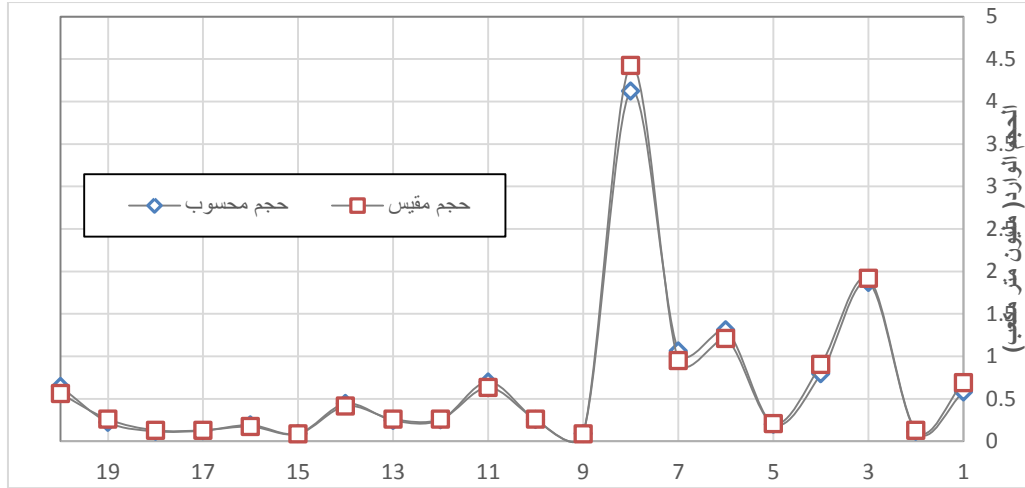


الشكل رقم (13): الفرد الأمثل الناتج عن النموذج الثالث.

تمثل العلاقة التالية التركيب الشجري الظاهر في الشكل (13):

$$Q = ((\text{EXP}(-1.73))/((16.315-0.385*P)) + (\text{EXP}(-1.98) + 0.814*P)) * 1.128 - 0.5$$

تشكلت علاقة حساب التدفق الناتج من الهطل المطري بالاعتماد على قيم الهطل وبعد الحصول على قيم التدفقات من العلاقة السابقة نقوم بحساب حجم الجريان الوارد إلى بحيرة السد، ونحصل على القيم التالية للحجوم الواردة إلى السد والناتجة عن الهطل المطري في عام 2009 كما يظهر في الجدول (5) وممثلة بيانياً في الشكل (14):



الشكل رقم (14): الحجم الوارد المقيس والحجم المحسوب إلى بحيرة السد.

الجدول رقم (5): حساب الوارد المائي وتحقق النموذج.

تاريخ إجراء القياس	التدفق المقيس (m ³ /s)	التدفق المحسوب (m ³ /s)	الحجم المقيس (MCM)	الحجم المحسوب (MCM)	الخطأ النسبي (%)
2009-03-28	8	6.736	0.691	0.581	15.84
2009-04-07	1.5	1.356	0.129	0.117	9.55
2009-04-08	22.2	21.63	1.918	1.868	2.57
2009-04-15	10.46	9.215	0.903	0.796	11.9
2009-04-16	2.4	2.305	0.207	0.199	3.97
2009-04-17	14	15.18	1.208	1.311	8.44
2009-04-23	11	12.3	0.95	1.062	11.83
2009-04-25	51.2	47.74	4.423	4.124	6.75
2009-04-26	1	1.024	0.0864	0.088	2.4
2009-05-04	3	2.957	0.259	0.255	1.44
2009-05-05	7.32	8.084	0.632	0.698	10.44
2009-09-14	3	2.914	0.259	0.251	2.86
2009-09-17	3	2.839	0.259	0.245	5.35
2009-09-18	4.8	5.136	0.414	0.443	7
2009-09-14	1	1.045	0.086	0.09	4.52
2009-09-17	2	2.2	0.172	0.19	10.1
2009-10-05	1.5	1.452	0.129	0.125	3.13
2009-10-07	1.5	1.364	0.129	0.117	9.07
2009-11-12	3	2.59	0.259	0.22	13.76
2009-09-18	6.5	7.44	0.561	0.64	14.56
المتوسط الحسابي للخطأ النسبي			7.8 %		

الاستنتاجات والتوصيات:

- ❖ شكّل النموذج الأمثل للبرمجة الجينية قيم ارتباط جيدة جداً قاربت عند التحقق في بعض النماذج 99% مما يسمح بالحصول على قيم مقبولة مستقبلاً.
- ❖ تعتبر بارامترات النماذج من عدد الأجيال وعدد الأفراد وكثافة التركيب الشجري عوامل هامة للوصول إلى العلاقة النهائية حيث مع زيادة هذه العوامل نسمح بزيادة فرص تحقيق النموذج الأمثل.
- ❖ هناك دور لطريقتي التزاوج العنبر والطفرة في تشكيل الأجيال وبالتالي تشكيل العلاقات الرياضية المطلوبة ومن الضروري تحقيق توازن بين نسبة كل منهما في جيل الآباء.
- ❖ البرمجة الجينية طريقة ملائمة لتمثيل المشكلات المائتة المدروسة ومن المفيد استخدامها في التنبؤ بالحلول وهذا يسمح بإدارة مثلى للموارد المائية في الحوض المدروس.
- ❖ تعتبر الدقة في القياسات العامل الرئيس في الوصول إلى نمذجة صحيحة وتحقيق عملية التنبؤ بأي قيم مستقبلية، لذلك من الضروري اللجوء إلى القياسات الآلية المؤتمتة باعتبارها أكثر دقة.

References:

- [1] Najjar, Y., Bouchaou, L., Riad, S., Mania, J., *Rainfall-Runoff Model Using an Artificial Neural Network Approach*. Mathematical and Computer Modelling, Vol.(40), 2004, 839–846.
- [2] AMMAR, GH., HAYEK, SH., ISSA, SH., *The Relationship Between the Precipitation and The Flow in The Marqiyeh River Basin by Using the Minitab Program*. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies-Engineering Sciences Series, Vol.(37), 2015, 301-320.
- [3] AYTEK, A., ALP, M., ASCE, M., *An Application of Artificial Intelligence for Rainfall-Runoff Modeling*. International Journal of Earth Syst. Sci., Vol.(117), 2008, 145–155.
- [4] WHIGHAM, P., CRAPPER, P., *Modelling Rainfall-Runoff using Genetic Programming*. Journal of Mathematical and Computer Modelling, Vol.(33), 2001, 707–721.
- [5] ALWASHAH, M.; ALSHAREEF, A.; ABABENH, M., *Multi-Gene Genetic Programming for predict rainfall data*. The International Arab Conference on Information Technology, 2017.
- [6] HADI, S.; TOMBUL, M., *Monthly Streamflow Forecasting Using Continuous Wavelet and Multi-gene Genetic Programming Combination*. Journal of Hydrology, vol.561, 2018, 674-687.
- [7] MEHR, A.; JABARNEJAD, M.; NOURANI, V., *Pareto-optimal Mpsa-mggp: A New Gene-annealing Model For Monthly Rainfall Forecasting*, Journal of Hydrology, Vol. 571, 2019, 406-415.
- [8] AMMAR, GH., HAIDAR, B., *Determination of the most influential climatic factors in the(rainfall-runoff) relationship using artificial neural networks /Case study: Al-Kabir Al-Shimalee river /*. Albaath University Journal for Engineering Sciences, Vol.(22), 2017, 105–118.
- [9] Haifa, M., *Create relationship to estimate maximum discharges in ALKABER ALSHAMALY river basin based on the Rational Method*. Doctoral Dissertation, Syria 2013, 171.
- [10] BABOVIC, V.; KEIJZER, M., *Rainfall Runoff Modelling Based on Genetic Programming*. Nordic Hydrology, Vol. 33, No.5, 2002, 331-346.