

## تخمین تلفات انتقال در رودخانه زنگمار

معصومه خلج<sup>۱</sup>، لیلا نقی پور<sup>۲</sup>، صابره دربندی<sup>۳</sup>، سجاد برشنده<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۰۷

### چکیده

در رودخانه‌ها به‌ویژه در رودخانه‌های فصلی هنگام سیلاب به دلیل تلفات انتقال در مسیر جریان، حجم آب در پایین دست کاهش می‌یابد. از این‌رو مدل‌سازی چنین فرایندی در مدیریت منابع آب و مهندسی رودخانه حائز اهمیت است. در این تحقیق با استفاده از روش برنامه‌ریزی بیان ژن، تلفات انتقال در مسیر رودخانه فصلی زنگمار واقع در شمال غرب ایران بر اساس هیدروگراف‌های ورودی و خروجی مشاهداتی در بازه بین ایستگاه‌های ماکو و پلدشت مورد بررسی قرار گرفت. پس از اعمال ورودی‌های مختلف و عملگرهای متداول برنامه‌ریزی بیان ژن، هیدروگراف خروجی در ایستگاه پایین دست شبیه‌سازی گردید. بررسی شاخص‌های آماری نشان داد که عملکرد مدل برنامه‌ریزی بیان ژن در پیش‌بینی هیدروگراف خروجی قابل قبول بوده به‌طوری‌که برآورد تلفات انتقال در مقایسه با مقادیر مشاهداتی حدود ۴/۷٪ تخمین زده شده است.

**واژه‌های کلیدی:** برنامه‌ریزی بیان ژن، تلفات انتقال، رودخانه زنگمار، هیدروگراف سیلاب.

<sup>۱</sup> - دانشجوی دکتری عمران آب واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی تهران، ۰۹۱۴۸۵۳۶۶۵۰، Khalaj\_masumeh@yahoo.com

<sup>۲</sup> - دانشجوی دکتری منابع آب دانشگاه تبریز، naghypour.1@gmail.com

<sup>۳</sup> - استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز، sdarbandi.tabrizu@yahoo.com

<sup>۴</sup> - معاون طرح و توسعه سازمان آب منطقه ای آذربایجان غربی، barshandeh@gmail.com

## مقدمه

امکان پذیر است که مقاطع عرضی رودخانه در دسترس باشد لذا استفاده از روش‌های مذکور، در شرایطی غیر ممکن و یا در صورت نقشه‌برداری، پرهزینه و وقت‌گیر است. از این‌رو لزوم بررسی تلفات انتقال با روش‌های هوش مصنوعی همانند برنامه‌ریزی بیان ژن آشکار می‌شود. خوشبختانه در زمینه مطالعات مرتبط با مهندسی آب، برنامه‌ریزی بیان ژنی مورد استفاده قرار گرفته است.

قربانی و همکاران (۱۳۸۸) برای پیش‌بینی جریان رودخانه ليقوان از روش برنامه‌ریزی ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل برنامه‌ریزی ژنتیک از دقت بیشتری نسبت به مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی برخوردار بوده و این روش را به‌عنوان روشی مناسب و دقیق جهت پیش‌بینی جریان پیشنهاد کردند. قربانی و همکاران (۲۰۱۰) عملکرد سه روش برنامه‌ریزی ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی و نروفازی را در روندیابی سیلاب رودخانه قزل ایرماق ترکیه مورد ارزیابی قرار دادند نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که از بین سه روش مذکور مدل GP با دقت بیشتری هیدروگراف خروجی را شبیه‌سازی می‌کند.

مطالعات دی وریز و سیمرز (۲۰۰۲) نشان داد که تلفات آب از رودخانه‌های فصلی به‌عنوان یک عامل مهم در جایگزینی آب برداشت شده از سفره آب زیرزمینی می‌باشد. دیدگاه‌های مختلفی در زمینه روندیابی سیلاب در رودخانه‌های فصلی و برآورد تلفات انتقال در این رودخانه‌ها مطرح شده که ویوارلی و پرا (۲۰۰۲) این دیدگاه‌ها را در پنج دسته کلی طبقه بندی کردند: ۱- معادلات رگرسیونی ساده، ۲- معادله های دیفرانسیلی ساده شده، ۳- استفاده ترکیبی از معادلات رگرسیونی ساده و دیفرانسیلی ساده شده، ۴- مدل‌های روندیابی جریان ۵- بیان هیدرولوژیکی. مطالعات بروتو و گورجنز (۲۰۰۳) بر روی رودخانه لینیپو در ناحیه نیمه خشک آفریقای جنوبی نشان داد که تلفات انتقال آب در این رودخانه تا ۳۰ درصد نیز می‌رسد. با توجه به نظر لین و همکاران (۱۳۸۰) از

در رودخانه‌های فصلی نبود جریان پایه قبل از سیلاب موجب نفوذ آب در بستر و دشت‌های سیلابی و کاهش حجم سیلاب در پایین‌دست می‌شود. این کاهش حجم سیلاب که تلفات انتقال نامیده می‌شود متاثر از حجم و سرعت رواناب، هندسه کانال رودخانه، پوشش گیاهی در مسیر رودخانه، رقوم سطح آب زیرزمینی، خصوصیات بستر رودخانه و تلفات ناشی از تخیخ می‌باشد. برآورد تلفات انتقال از آن جهت دارای اهمیت است که می‌تواند اطلاعات مهمی در خصوص رواناب سطحی و تغذیه آب زیرزمینی به‌خصوص در مناطقی که سطح آب زیرزمینی پایین است، بدهد. در واقع می‌توان آن را به‌عنوان عامل کلیدی برای جایگزینی آب تازه برداشت شده از سفره آب زیر زمینی به حساب آورد.

یکی از روش‌هایی که برای برآورد تلفات انتقال و همسو با آن برآورد مقدار تغذیه آب زمینی در مسیر رودخانه‌های فصلی مورد استفاده قرار گرفته، توسعه معادلات سنت و نانت با استفاده از روابط تجربی برآورد نشت نظیر روابط اینگام، دیویس ویلسون، موریتس،... می‌باشد قبادیان (۱۳۹۰). بررسی‌هایی که توسط قبادیان و همکاران (۱۳۹۱) و سالمی و سپاسخواه (۱۳۸۵) در زمینه برآورد نشت در حالت ماندگار در کانال‌های خاکی صورت گرفته، نشان داده که ضرایب روابط مذکور باید برای شرایط محلی واسنجی شوند. همچنین با توجه به این‌که این ضرایب رابطه مستقیمی با بافت خاک دارند، لذا تغییر مشخصات بافت خاک در سال‌های مختلف می‌تواند موجب بروز خطا در برآورد تلفات ناشی از نفوذ شود. استفاده از روابطی نظیر موسکات نیز به علت رابطه مستقیم نشت در این رابطه با هدایت هیدرولیکی و خطا در برآورد این پارامتر، می‌تواند در برآورد تلفات موثر باشد ضمن اینکه اساسا این رابطه برای مقاطع منظم و شرایطی که عمق آب زیرزمینی در بی‌نهایت باشد به‌دست‌آمده است و از آنجایی که استفاده از روابط مذکور برای برآورد تلفات انتقال اساسا زمانی

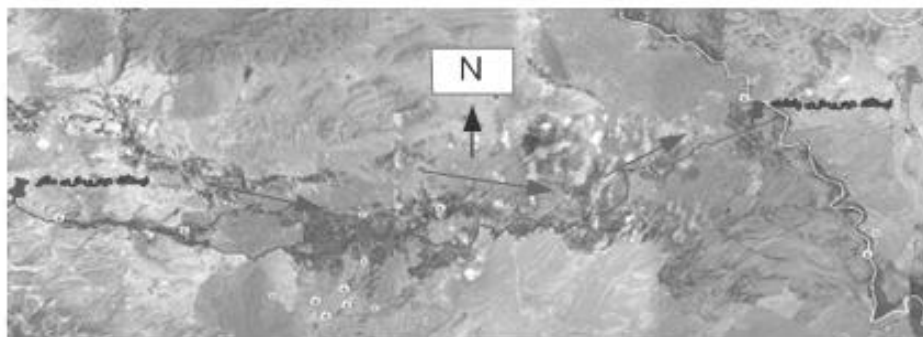
زهکش‌های اصلی حوضه ارس به شمار می‌رود. در این تحقیق برای برآورد تلفات انتقال رودخانه زنگمار از داده‌های هیدرومتری ایستگاه ماکو در بالادست و ایستگاه پلدشت در پایین‌دست این رودخانه استفاده گردید. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی رودخانه زنگمار را در حد فاصل بین ایستگاه‌های ماکو و پلدشت نشان می‌دهد. ایستگاه ماکو در موقعیت جغرافیایی  $36^{\circ}8' 31''$  طول و  $39^{\circ} 17' 20.3''$  عرض جغرافیایی و ایستگاه پلدشت در موقعیت  $36^{\circ}8' 31'' 45^{\circ}$  طول و  $39^{\circ} 20' 48.3''$  عرض جغرافیایی واقع شده است. طول رودخانه زنگمار بین دو ایستگاه مذکور ۶۲ کیلومتر، شیب رودخانه در ۱۰ کیلومتر بالادست ۰/۰۲ و در ۵۲ کیلومتر پایین‌دست بین ۰/۰۷ تا ۰/۰۳ می‌باشد. طبق اطلاعات به‌دست‌آمده از شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی تراز آب زیرزمینی در عمق ۸۰ تا ۹۰ متر زیر سطح زمین می‌باشد و با توجه به مشخصات رودخانه از قبیل زبری بستر، نوع و تراکم پوشش گیاهی و شکل مسیر، ضریب زبری در طول ۶۲ کیلومتر از مسیر رودخانه به‌صورت متغیر و بین ۰/۰۵ تا ۰/۳۵ است. شکل (۲) هیدروگراف‌های سیلاب اندازه‌گیری شده در دو ایستگاه مذکور را بین سال‌های ۸۴ تا ۸۹ نشان می‌دهد. خصوصیات آماری داده‌های مورد استفاده در این تحقیق در جدول (۱) ارائه شده است.

میان روش‌های ذکر شده روش ترکیبی به دلیل در نظر گرفتن فرایندهای فیزیکی وابسته به تلفات انتقال در مطالعه شکل عمومی معادلات و سپس استفاده از رگرسیون برای توسعه معادلات پیش‌بینی قابل اعتمادتر هستند. پریز و استفلد (۲۰۰۸) برای پیش‌بینی کیفیت آب و دبی روزانه حوضه مشوشم از زیر حوضه‌های دریاچه کینرت در شمال فلسطین اشغالی از برنامه‌ریزی ژنتیک استفاده کردند. نتایج تحقیق صورت گرفته نشان داد که استفاده از این روش در بیشتر موارد مقادیری نزدیک به مقادیر واقعی را ارائه می‌دهد. آیتک و همکاران (۲۰۰۸) برای مدل‌سازی بارش - رواناب در حوضه رودخانه جونیاتا در ایالت پنسیلوانیای آمریکا از دو روش شبکه عصبی مصنوعی و برنامه‌ریزی ژنتیک استفاده نمودند. مقایسه نتایج با استفاده از معیارهای ارزیابی نشان داد که روش برنامه‌ریزی ژنتیک در مقایسه با شبکه عصبی مصنوعی عملکرد بهتری داشته است.

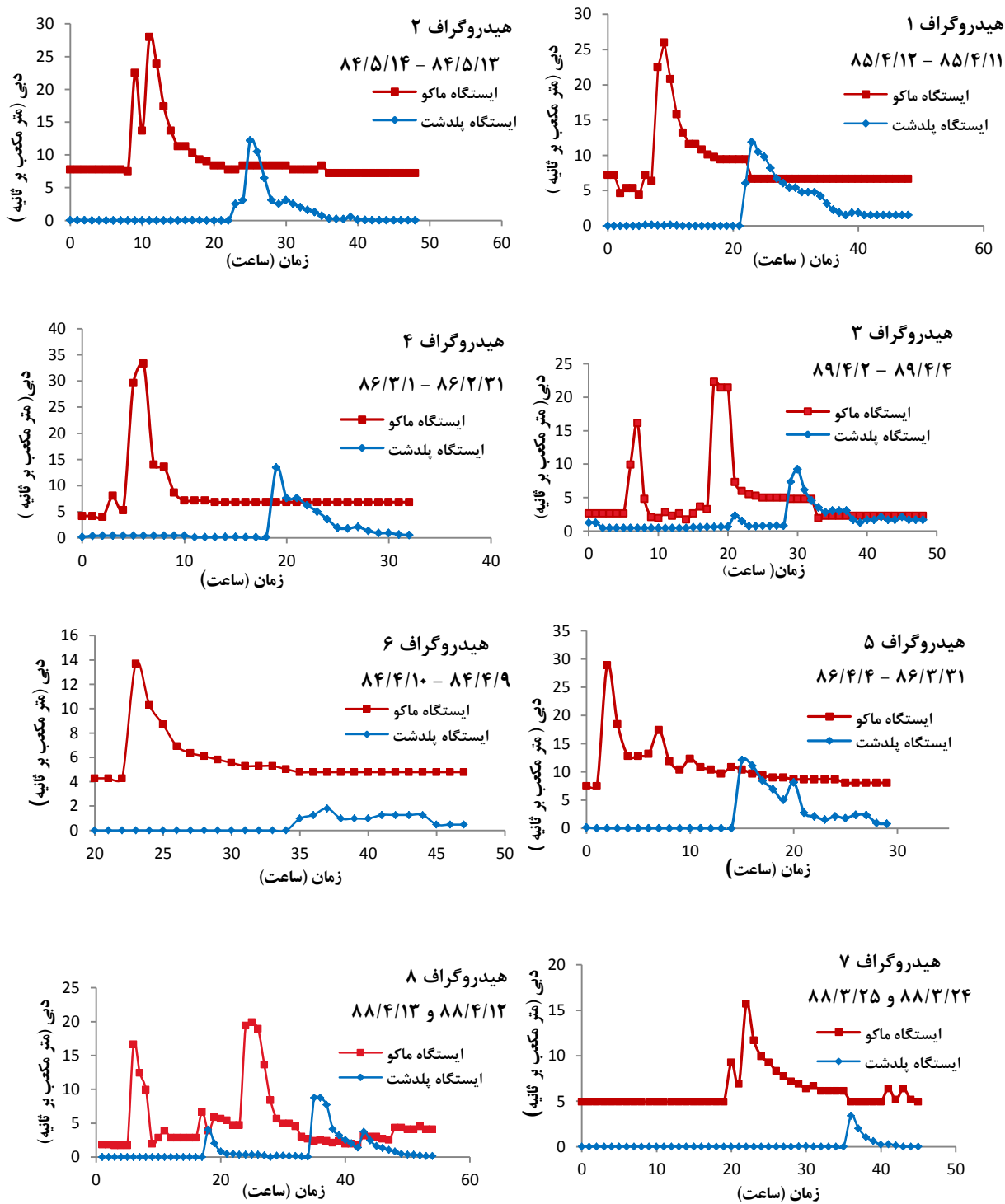
به‌طورکلی هدف از این تحقیق تخمین تلفات انتقال جریان در رودخانه زنگمار واقع در شمال غرب ایران با استفاده از مدل برنامه‌ریزی بیان ژن می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

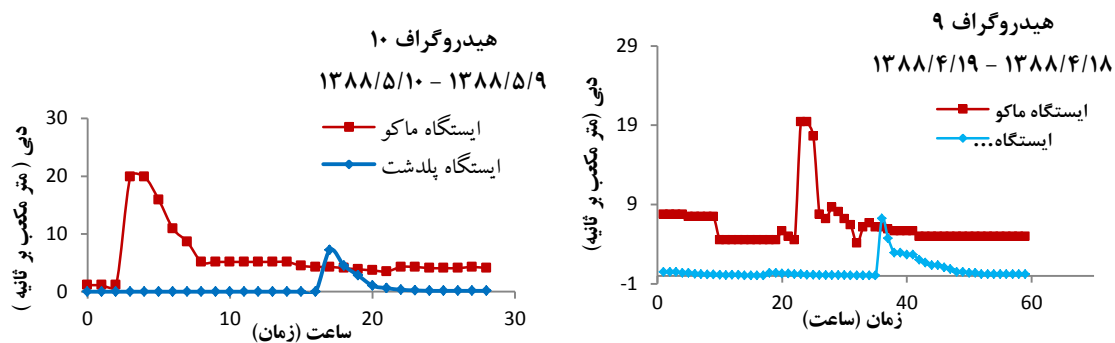
منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده رودخانه فصلی زنگمار در شمال غربی ایران، یکی از



شکل (۱): پلان رودخانه زنگمار حد فاصل بین ایستگاه‌های ماکو و پلدشت



شکل (۲): هیدروگراف‌های سیل اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های ماکو و پلدشت



ادامه شکل (۲): هیدروگراف‌های سیل اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های ماکو و پلدشت

جدول (۱): خصوصیات آماری مقادیر دبی هیدروگراف ورودی و خروجی (۱۳۸۹-۱۳۸۴)

مشخصه‌های آماری	دبی هیدروگراف ورودی (m <sup>3</sup> /s)	دبی هیدروگراف خروجی (m <sup>3</sup> /s)
میانگین	۷/۱۲	۰/۹۲
حداکثر	۳۱	۸/۸۵
حداقل	۱/۸۱	۰/۰۰۱
واریانس	۵/۶۸	۲۵/۶۳

مورد استفاده در این تحقیق نرم‌افزار GeneXproTools (فریرا، ۲۰۰۱) است.

اولین مرحله در تخمین هیدروگراف خروجی و محاسبه تلفات انتقال به کمک این نرم‌افزار، تولید جمعیت اولیه از راه حل‌هاست که به کمک یک سری توابع و ترمینال‌ها صورت می‌گیرد لذا قبل از مراحل اجرایی مدل برنامه‌ریزی بیان ژن، گام‌های مقدماتی زیر باید توسط کاربر تعیین شوند.

۱. مجموعه ترمینال‌ها (متغیرهای مسئله، اعداد ثابت تصادفی)، ۲. مجموعه عملگرهای ریاضی مورد استفاده در فرمول‌ها، ۳. انتخاب تابع برازش، برای سنجش برازش فرمول‌ها. درواقع در مدل برنامه‌ریزی بیان ژن، کارایی یا سازگاری هر عضو جمعیت کروموزوم‌ها به کمک تابع برازش مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. تابع برازش مورد استفاده در این تحقیق به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

## برنامه‌ریزی بیان ژن

GEP<sup>۱</sup> روشی مناسب برای مدل‌سازی فرایندهای غیرخطی و پیچیده است. این نوع الگوریتم افرادی کدگذاری شده به شکل کروموزوم‌های خطی با طول ثابت و قابل بیان به شکل ساختارهای شاخه‌ای هستند. ساختار خطی کروموزوم‌ها موجب می‌شود که استفاده از عملگرهای ژنتیکی نظیر جهش و ترکیب همیشه ساختارهای صحیح و معتبری تولید کند. درواقع در GEP بهسازی‌ها در یک ساختار خطی اتفاق افتاده و سپس به‌صورت ساختار درختی<sup>۲</sup> بیان می‌شود و این موجب می‌شود تنها ژنوم اصلاح شده به نسل بعد منتقل شده و نیازی به ساختارهای سنگین برای تکثیر و جهش وجود نداشته باشد (فریرا، ۲۰۰۴). نرم‌افزار

<sup>۱</sup>- Genetic Expression Programming

<sup>۲</sup>-Expression tree structure

مذکور با استفاده از توابع برازش مورد ارزیابی قرار گرفته، جواب‌های ضعیف حذف شده و جواب‌های برتر حفظ می‌شوند. ۳. تولید یک جمعیت جدید از فرمول‌ها، که مراحل زیر برای تولید یک جمعیت جدید دنبال می‌شود:

الف: یکی از عملگرهای ژنتیکی تلاقی، جهش و تولیدمثل انتخاب می‌شود (این سه عمل ژنتیکی، مهم‌ترین عملگرهای ژنتیکی مورد استفاده در مدل برنامه‌ریزی بیان ژن می‌باشند. عملگرهای دیگری مثل اصلاح ساختار و... نیز با احتمال کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند.)، ب: تعداد مناسبی از افراد جمعیت حاضر انتخاب می‌شوند (انتخاب فرد یا افرادی از جمعیت مذکور به صورت احتمالاتی می‌باشد که در این انتخاب احتمالاتی منفردهای با برازش بهتر به منفردهای نامرغوب ترجیح داده می‌شوند و این بدان معنی نیست که حتماً منفردهای نامرغوب حذف می‌شوند)، ج: از عملگر ژنتیکی انتخاب شده برای تولید فرزند (فرمول جدید) استفاده می‌شود. د: فرزند (فرمول جدید) تولید شده در یک جمعیت جدید وارد می‌شود، ه: مدل مورد نظر با استفاده از تابع برازش مورد ارزیابی واقع می‌شود. ۴. گام سوم تا نیل به حداکثر تعداد تولید، تکرار خواهد شد.

طرح کلی گام‌های اجرایی مدل برنامه‌ریزی بیان ژن در شکل ۳ نشان داده شده است.

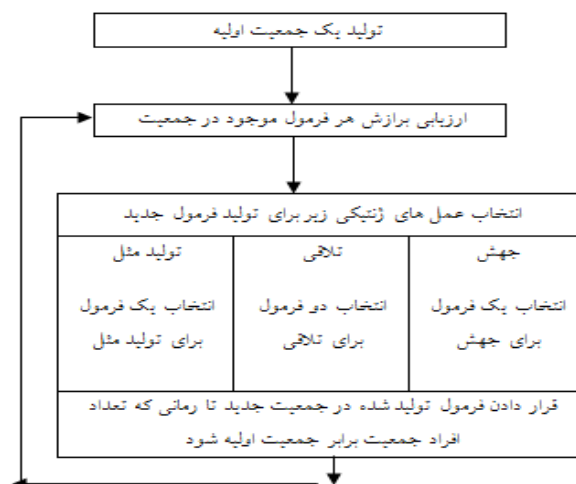
$$f_i = \sum_{j=1}^n R - \left| \left( \frac{P_{ij} - T_j}{T_j} 100 \right) \right| \quad (1)$$

در رابطه بالا R محدوده انتخابی،  $P_{ij}$  مقدار پیش‌بینی شده به وسیله برنامه i برای مورد برازش z (از میان n مورد برازش) است و  $T_j$  مقدار هدف برای مورد برازش z است.

بدین ترتیب به کمک تابع برازش و حفظ جواب‌های برتر و حذف جواب‌های ضعیف‌تر به تدریج به جواب مطلوب نزدیک می‌شویم، ۴. تعیین پارامترهای کنترل‌کننده اجرای برنامه (اندازه جمعیت، احتمال مربوط به کارگیری عمل‌های ژنتیکی و جزئیات دیگر مربوط به اجرای برنامه)، ۵. معیار پایان و ارائه نتایج اجرای برنامه (مثل، تعداد تولید جمعیت جدید، تعیین یک مقدار مشخص برای برازش فرمول‌ها که اگر میزان برازش برابر یا بیشتر از آن مقدار شد، اجرا متوقف شود).

### الگوریتم تحقیق

فرآیند اجرایی گام به گام مدل برنامه‌ریزی بیان ژن به صورت مراحل زیر است: ۱. تولید یک جمعیت اولیه از فرمول‌ها که این فرمول‌ها از ترکیب تصادفی مجموعه توابع (عملگرهای ریاضی مورد استفاده در فرمول‌ها) و ترمینال‌ها (متغیرهای مسئله و اعداد ثابت) ایجاد می‌شوند، ۲. هر یک از افراد جمعیت



شکل (۳): مروری بر شکل کلی گام های اجرایی مدل برنامه ریزی بیان ژن (ست و بولارت ۲۰۰۱)

معلولی بین هیدروگراف خروجی و ورودی به صورت زیر در نظر گرفته شده است.

مدل برنامه ریزی بیان ژن بین متغیرهای ورودی و خروجی رابطه ای را برقرار می کند، لذا رابطه علت و

$$Q_{t+\delta\Delta t} = f(I_t, I_{t-\Delta t}, \dots, I_{t-w\Delta t}, Q_t, Q_{t-\Delta t}, \dots, Q_{t-W\Delta t}) \quad (1)$$

### معیارهای ارزیابی

عملکرد مدل برنامه ریزی بیان ژن در پیش بینی هیدروگراف خروجی با استفاده از پارامترهای آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب همبستگی ( $R^2$ )، مورد بررسی قرار می گیرد تا دقت مدل در برآورد تلفات انتقال در مقایسه با داده های مشاهداتی مورد ارزیابی قرار گیرد. بدیهی است هر اندازه مقادیر مربوط به RMSE و MAE به صفر نزدیک تر و مقدار  $R^2$  به یک نزدیک تر باشد، دقت مدل مذکور در شبیه سازی جریان خروجی بیشتر می باشد.

که در آن Q دبی خروجی بر حسب  $m^3 s^{-1}$ ، I دبی ورودی  $m^3 s^{-1}$ ،  $(\delta=1,2,\dots)$  پارامتری است که نشان می دهد تا کجا تخمین دبی خروجی مطلوب می باشد. پارامتر  $(W=1,2,\dots)$  نشان دهنده اینست که تا کجا داده های دبی خروجی و ورودی روی تخمین دبی خروجی با فواصل زمانی  $\Delta t$  تأثیر دارد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((Q_e)_i - (Q_o)_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |(Q_e)_i - (Q_o)_i|}{n} \quad (3)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n ((Q_o)_i - \overline{Q_o})((Q_e)_i - \overline{Q_e})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n ((Q_o)_i - \overline{Q_o})^2 \sum_{i=1}^n ((Q_e)_i - \overline{Q_e})^2}} \quad (۴)$$

عملگرهای ریاضی به صورت زیر مورد استفاده قرار گرفت که مجموعه یک، عملگرهای پیش فرض نرم افزار و مجموعه دو، چهار عمل اصلی می باشد.

مجموعه یک = {sin, cos, tan<sup>-1</sup>, x<sup>2</sup>, x<sup>3</sup>, +, -, ×, /, }  
مجموعه دو = {/, ×, -, +, }

همچنین، پارامترهای لازم جهت تجزیه و تحلیل در این تحقیق که جزء گام های اولیه مدل برنامه ریزی بیان ژن می باشند به صورت جدول ۲ انتخاب شد.

در روابط بالا  $Q_o$  مقدار دبی مشاهداتی و  $Q_e$  مقدار دبی محاسبه شده توسط مدل برنامه ریزی بیان ژن می باشد.

### بحث و نتایج

گام اول در برآورد تلفات انتقال رودخانه زنگمار، تخمین هیدروگراف خروجی در ایستگاه پایین دست است برای این منظور هیدروگراف های شماره ۱ تا ۵ ارائه شده در شکل ۲ به عنوان داده های آموزش و ۵ هیدروگراف دیگر ارائه شده در شکل ۲ به عنوان داده های تست به مدل معرفی شد و دو مجموعه از

جدول (۲): پارامترهای استفاده شده در مدل برنامه ریزی بیان ژنی

مقدار	پارامتر
۱۰	اندازه سر (Head size)
۴۰	تعداد کروموزوم ها (Chromosomes)
۵	تعداد ژن ها در هر کروموزوم (Number of gens)
۰/۰۴۴	نرخ جهش (Mutation Rate)
۰/۳	نرخ ترکیب تک نقطه ای (One -point Recombination Rate)
۰/۳	نرخ ترکیب دو نقطه ای (Two -point Recombination Rate)
۰/۳	نرخ ترکیب ژن (Gene Recombination Rate)
۰/۱	نرخ ترانزیشن (IS Transposition Rate)
RMSE	معیار خطای تابع برازش (Fitness Function Error Type)
جمع (+)	تابع پیوند (Linking Function)

خروجی انتخاب گردد (قربانی و همکاران، ۱۳۸۸). مقادیر تابع برازش، ضریب همبستگی و جذر میانگین مربعات خطا، مربوط به تخمین هیدروگراف هایی که برای آموزش مدل انتخاب شده اند و هیدروگراف هایی که برای تست مدل انتخاب شده است در جدول ۲ ارائه شده تا ضمن ارزیابی الگوهای متفاوت پارامترهای ورودی، بهترین الگو جهت مدل سازی هیدروگراف

### نتایج حاصل از مدل سازی با مجموعه عملگرهای ریاضی یک و دو

با استفاده از هر کدام از عملگرهای ۱ و ۲ و به منظور انتخاب بهترین ترکیب جهت تخمین هیدروگراف خروجی، متغیرهای ورودی در مقیاس های زمانی مختلف در پنج ترکیب متفاوت به مدل معرفی شد تا بهترین حالت ممکن جهت تخمین هیدروگراف



$$Q_t = f(I_t, I_{t-1}, I_{t-2}, Q_{t-1}, Q_{t-2}) \quad (5)$$

در رابطه بالا،  $I_t$  جریان ورودی در زمان حال،  $I_{t-1}$  جریان ورودی در زمان  $t-1$  و  $I_{t-2}$  جریان ورودی در زمان  $t-2$  و  $Q_{t-1}$  و  $Q_{t-2}$  به ترتیب دبی خروجی در زمان های  $t-1$  و  $t-2$  است.

همچنین مقایسه نتایج ارائه شده در جدول ۳ نشان می دهد که مدل حاصل از مجموعه عملگرهای ریاضی دو از دقت بالاتری برخوردار است.

خروجی در ایستگاه پلدشت انتخاب شود. همان طور که در جدول مذکور مشاهده می شود در صورت استفاده از هر کدام از عملگرهای مجموعه ۱ یا ۲، بهترین حالت های ورودی زمانی به دست می آید که دبی جریان خروجی با یک زمان تاخیر و سپس با دو زمان تاخیر وارد محاسبات شود؛ از این رو ساختار رابطه ای که متغیرهای ورودی و خروجی را به هم ربط می دهد به صورت رابطه ۵ تعریف شده است. رابطه مذکور ساختار مقدماتی مدل برنامه ریزی بیان ژن را نشان می دهد.

جدول (۳): پارامترهای آماری دقت مدل های حاصل از برنامه ریزی بیان ژن

تست		آموزش		مقدار تابع برازش	الگوی ورودی
RMSE (m <sup>3</sup> /s)	R	RMSE(m <sup>3</sup> /s)	R		
۳/۹۹	۰/۰۲	۲/۲۶	۰/۲۹	۵۴۳/۳	$I_t$
	۳				$I_t, I_{t-1}$
۴/۲	۰/۰۳	۲/۱۸	۰/۳۳	۵۵۲/۰۶	
	۰				
۳/۵۲	۰/۲۷	۲/۱۶	۰/۳۵	۵۵۴/۰۹	$I_t, I_{t-1}, I_{t-2}$
	۰				$I_t, I_{t-1}, I_{t-2}, Q_{t-1}$
۱/۹۷	۰/۰۷	۱/۱۵	۰/۸۲	۷۰۰/۴۴	
۱/۵۸	۰/۸۴	۰/۱۶۵۴	۰/۹۴۷	۸۰۷/۵۵	$I_t, I_{t-1}, I_{t-2}, Q_{t-1}, Q_{t-2}$
	۰				$I_t$
۳/۷۵	۰/۰۹	۲/۴۶	۰/۱۶	۵۲۱/۵	
	۰				$I_t, I_{t-1}$
۴/۱۳	۰/۳۱	۲/۳	۰/۲۸	۵۳۸	
	۲				$I_t, I_{t-1}, I_{t-2}$
۵/۱۳	۰/۸۴	۲/۲۷	۰/۲۸	۵۴۲/۲	
	۶				$I_t, I_{t-1}, I_{t-2}, Q_{t-1}$
۲/۲۳	۰/۶۳	۱/۰۸	۰/۸۳	۷۱۲	
	۰				$I_t, I_{t-1}, I_{t-2}, Q_{t-1}, Q_{t-2}$
۳/۲۱	۰/۴۳	۰/۷۴	۰/۹۲	۷۸۲/۲۶	

عملگرهای شماره ۱

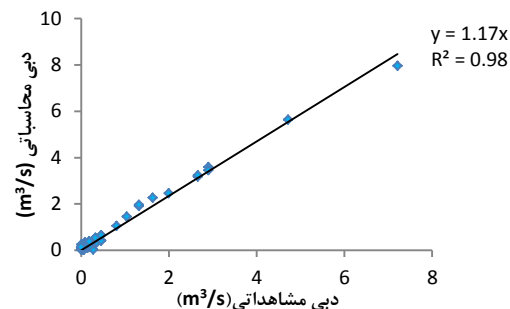
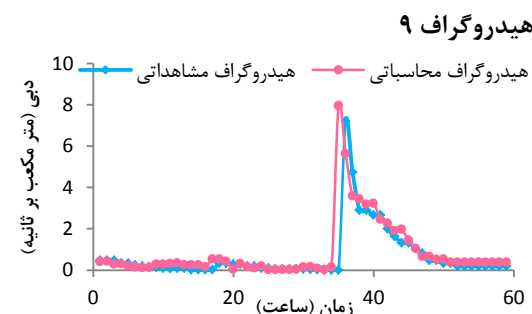
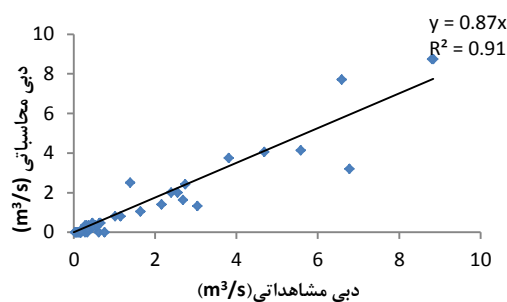
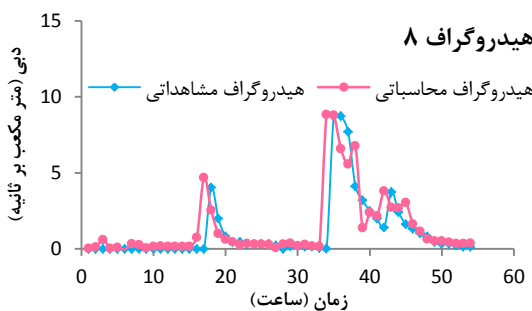
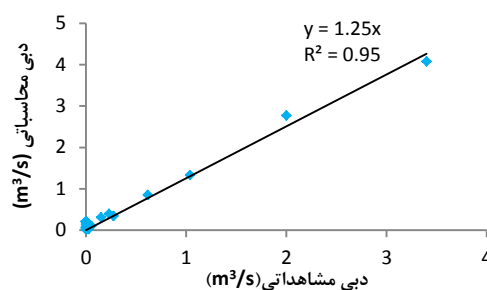
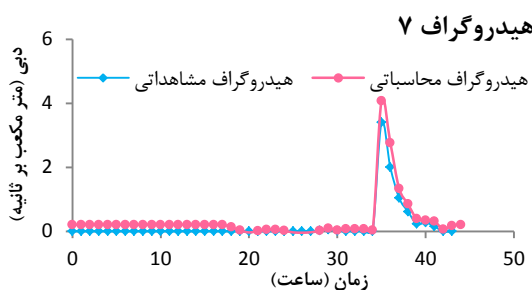
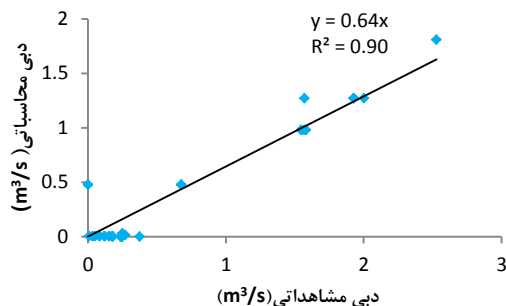
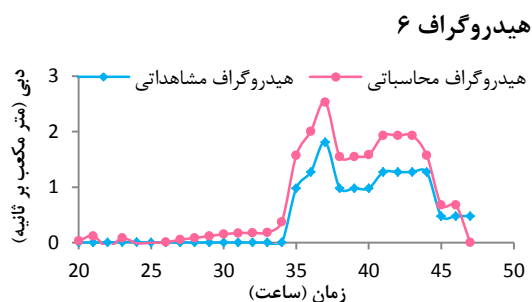
عملگرهای شماره ۲

$I_t, I_{t-1}, I_{t-2}, Q_{t-1}, Q_{t-2}$  و عملگرهای مجموعه ۲ در جدول ۴ و شکل ۴ ارائه شده است. بررسی شاخص های آماری مربوط به تخمین سیلاب

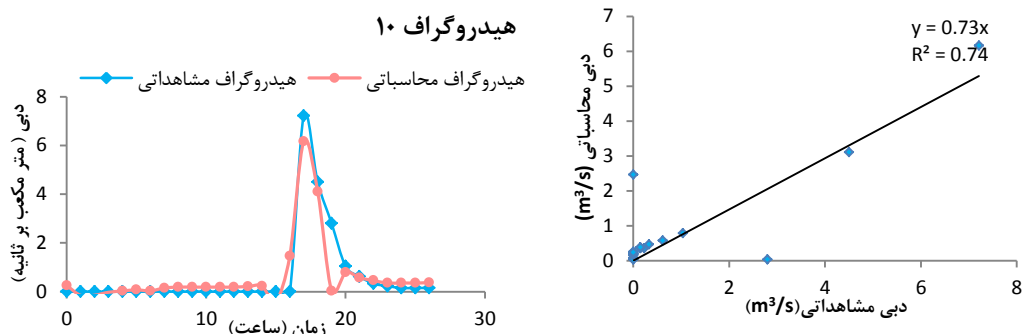
نتایج تخمین هیدروگراف های سیل شماره ۶ تا ۱۰ با مدل برنامه ریزی بیان ژن که به عنوان داده های تست به مدل معرفی شدند، با استفاده از الگوی

می‌کند. در جداول ۴، ۵ و ۶ هیدروگراف‌های شماره ۶ تا ۱۰، معرف هیدروگراف‌های اندازه‌گیری شده بین سال‌های ۸۴ تا ۸۹ است که به ترتیب در شکل ۲ ارائه شده است.

این هیدروگراف‌ها و نمودارهای پراکنش که به ترتیب در جدول ۴ و شکل ۴، ارائه شده است عملکرد مدل برنامه‌ریزی بیان ژن را در پیش‌بینی هیدروگراف سیل خروجی در ایستگاه پلدشت موفقیت‌آمیز ارزیابی



شکل (۴): نمودار مقادیر محاسباتی و مشاهداتی حاصل از بهترین ترکیب منتج از مدل برنامه‌ریزی بیان ژن، برای قسمت تست در ایستگاه پلدشت



ادامه شکل (۴): نمودار مقادیر محاسباتی و مشاهداتی حاصل از بهترین ترکیب منتج از مدل برنامه‌ریزی بیان ژن، برای قسمت تست در ایستگاه پلدشت

جدول (۴): مقایسه آماری عملکرد مدل برنامه‌ریزی بیان ژن در شبیه‌سازی هیدروگراف خروجی در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه پلدشت

شاخص های آماری	هیدروگراف سیل		
RMSE(m <sup>3</sup> )	MAE(m <sup>3</sup> )	R <sup>2</sup>	
۱/۵۸	۱/۵۱	۰/۸۴	۶
۱/۵۹	۰/۵۱	۰/۷۷	۷
۱/۵۳	۰/۶۷	۰/۷۳	۸
۱/۰۸	۰/۳۳	۰/۶۹	۹
۱/۲۴	۰/۸۹	۰/۷۷	۱۰

برنامه‌ریزی بیان ژن به طور متوسط با خطایی برابر با ۱۷/۶۵ درصد حجم سیلاب هیدروگراف خروجی را پیش بینی می‌کند.

در مرحله بعد حجم سیلاب محاسبه شده توسط مدل برنامه‌ریزی بیان ژن در مقایسه با مقادیر مشاهداتی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج این بررسی که در جدول ۵ ارائه شده است نشان می‌دهد که مدل

جدول (۵): عملکرد مدل برنامه‌ریزی بیان ژن در پیش‌بینی حجم سیلاب در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه پلدشت

خطای مدل GEP (درصد)	حجم سیلاب		هیدروگراف سیل
	مقادیر محاسباتی (m <sup>3</sup> )	مقادیر مشاهداتی (m <sup>3</sup> )	
۷/۹٪	۲۴۵۴۵۱	۲۴۵۲۵۷	۶
۲۰٪	۱۹۹۰۴۴	۱۶۶۲۸۴	۷
۲۸٪	۲۷۵۴۴۷	۲۱۹۷۶۲	۸
-۱۲٪	۱۸۱۱۰۹	۱۴۰۹۹۹	۹
۱۷٪	۵۷۲۴۰	۶۴۲۹۷	۱۰

سال‌های ۸۴ تا ۸۹، نشان می‌دهد که به‌طور متوسط حدود ۸۸ درصد از حجم هیدروگراف ورودی، در

مطالعات انجام شده بر روی ۱۰ هیدروگراف سیل اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های ماکو و پلدشت بین

ایستگاه پلدشت خواهد بود. لذا پس از پیش‌بینی هیدروگراف خروجی توسط مدل، در نهایت با توجه به حجم سیلاب هیدروگراف ورودی و حجم سیلاب هیدروگراف‌های خروجی محاسبه شده و اندازه‌گیری شده، مقدار تلفات انتقال در مسیر رودخانه محاسبه شد. نتایج این محاسبات در جدول ۶ ارائه شده است.

انتقال از ایستگاه ماکو تا ایستگاه پلدشت تلف می‌شود؛ که این تلفات می‌تواند ناشی از تبخیر و نفوذ در دشت‌های سیلابی باشد. البته به دلیل کوهستانی بودن منطقه مورد مطالعه می‌توان از تلفات ناشی از تبخیر صرف نظر کرد. بدیهی است تلفات نفوذ برابر با اختلاف حجم هیدروگراف ورودی و هیدروگراف خروجی در

جدول (۶): مقادیر تلفات انتقال رودخانه زنگمار برای رویداد های مختلف

خطای مدل GEP (درصد)	تلفات انتقال		درصد تلفات انتقال	حجم سیلاب	
	محاسباتی (m <sup>3</sup> )	مشاهداتی (m <sup>3</sup> )		هیدروگراف ورودی (m <sup>3</sup> )	هیدروگراف سیل
٪-۲/۱	۸۹۸۹۷۰	۸۹۹۱۶۴	٪۷۸/۷۹	۱۱۴۴۴۲۲	۶
٪-۲/۵	۱۳۰۲۴۴۴/۱۷	۱۳۳۷۲۰۳	٪۸۹/۱۷	۱۳۲۷۲۰۳	۷
٪-۷/۳	۷۰۰۰۶۲/۵۳	۷۵۵۷۴۸	٪۷۷/۴۷	۹۷۵۵۱۰	۸
٪-۳/۳	۱۱۴۹۷۷۴	۱۱۸۹۴۸۴	٪۸۹/۴	۱۳۳۰۸۸۴/۴	۹
٪۱۲	۵۷۴۳۱۵۱/۲	۵۷۵۶۰۵/۸	٪۸۹/۹۵	۱۴۰۹۹۹/۴	۱۰

$I_t$ ،  $I_{t-1}$ ،  $I_{t-2}$ ،  $Q_{t-1}$ ،  $Q_{t-2}$  و عملگرهای شماره ۲، برای روندیابی سیل مناسب ارزیابی شد. همچنین بررسی ۱۰ هیدروگراف سیل اندازه‌گیری شده نشان داد ۸۸ که درصد از حجم آب بین دو ایستگاه ماکو و پلدشت تلف می‌شود و محاسبه تلفات انتقال با استفاده از حجم سیلاب هیدروگراف ورودی و خروجی اندازه‌گیری شده و حجم سیلاب پیش‌بینی شده به وسیله مدل برنامه‌ریزی بیان ژن نشان داد، مدل مذکور به طور متوسط تلفات را ۴/۷ درصد کمتر از مقدار واقعی پیش‌بینی می‌کند و همان‌طور که قربانی و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند برنامه‌ریزی بیان ژن دقت قابل‌قبولی در مدل‌سازی هیدروگراف خروجی در پایین‌دست رودخانه دارد.

محاسبه تلفات انتقال توسط مدل برنامه‌ریزی بیان ژن نشان می‌دهد که مدل مذکور به طور متوسط با خطایی برابر با ۴/۷ درصد قادر به پیش‌بینی تلفات در مسیر رودخانه مورد مطالعه می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق با توجه به کاهش قابل توجه حجم آب بین ایستگاه‌های بالادست و پایین‌دست رودخانه زنگمار، محاسبه تلفات انتقال در مسیر رودخانه با استفاده از مدل برنامه‌ریزی بیان ژن مورد توجه قرار گرفت. بدین منظور ۵ هیدروگراف اندازه‌گیری شده بین سال‌های ۸۴ تا ۸۸ با مدل برنامه‌ریزی بیان ژن محاسبه گردید. با بررسی شاخص‌های آماری مربوط به تخمین هیدروگراف سیل خروجی، استفاده از الگوی

### منابع:

- سالمی، ح. و ع. سپاسخواه. ۱۳۸۵. اصلاح معادلات تجربی نشت آب از کانال در منطقه روددشت اصفهان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. مجله علوم و فنون کشاورزی، جلد ۱۰، شماره اول
- قبادیان ر. و م. خلج. ۱۳۹۱. برآورد عددی مقدارنشت از کانال‌های خاکی منطقه نازلو ارومیه و اصلاح ضرایب روابط تجربی برآورد نشت. مجله آب و خاک مشهد. جلد ۱۰، شماره ۲.

قبادیان ر. ۱۳۹۰. روندیابی سیلاب و تخمین تلفات نشت در رودخانه‌های فصلی با حل همزمان معادلات جریان غیر ماندگار و نشت. مجله آب و خاک مشهد. جلد ۵، شماره ۲.

قربانی ر. و ف. فرهود نام. ۱۳۸۸. پیش‌بینی جریان رودخانه با استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک. مجله دانش کشاورزی. جلد ۱۹، شماره ۱.

Aytek A. O. and Kisi. 2008. A genetic programming approach to suspended sediment modeling. *Journal of Hydrology* 351L. 288-298.

Boroto R. A. j. and A. H. M. Gorgens. 2003. Estimating transmission losses along the Limpopo River- an overview of alternative methods. *Hydrology of the Mediterranean and Semiarid Regions IAHS Publ .no.278*. 138-143.

De Vries J. j. and I. Simmers. 2002. Ground water recharge: an overview of process and challenges. *Hydrology J*.10.5-17.

Ferreira C. 2001. Gene expression programming in problem solving, In: 6th Online World Conference on Soft computing in Industrial Applications (Invited Tutorial).

Ferreira C. 2001. Gene expression programming: a new adaptive algorithm for solving problems, *Complex Syst. b*; 13 (2), 87-129.

Ferreira C., Gene expression programming and the evolution of computer programs, In: Castro, L. N. and F. J. Von Zuben. 2004. *Recent Developments in Biologically Inspired Computing*. pages 82-103, Idea Group Publishing.

Khatibi R., M. A. Ghorbani, M. HasanpourKashani and O. Kisi. 2010. Comparison of three artificial intelligence techniques for discharge routing. *journal of hydrology v. 403. iss. 3-4*., 201-212.

Lan L. J., V. J. Ferreira and E. D. Shirley. 1980. Estimating transmission losses in ephemeral stream channels. *Hydrology and water Resources in Arizona and the south west. Proc. 1980 meeting Arizona Section.A.W.R.A. and Hydrology Section Arizona Nevada Academy of science*. 193-202.

Liong S. Y., T. R. Gautam, , S. T. Khu, V. Babovic, M. Keijzer and N. Muttill. 2002. Genetic programming: A new paradigm in rainfall runoff modeling. *Journal of American Water Resources Association*. 38 (3): 705-718.

Lopes, H. S. and W. R. Weinert. 2004. EGIPSYS: An enhanced gene expression programming approach for symbolic regression problems., *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*. 14(3): 375-384.

Preis A. and A. Ostfeld. 2008. A coupled model tree-genetic algorithm scheme for flow and water quality predictions in watersheds. *Journal of Hydrology* 349: 364- 375.

Vivarelli R. and B. J. C. Perera. 2002. transmission losses in natural rivers and streams. a review *Victoria University of Technology, Melbourne*.

## Estimation of transmittion losses in Zangmar River

M.khalaj<sup>1</sup>, L.Naghipour<sup>2</sup>, S.Darbandi<sup>3</sup>, S.Barshandeh<sup>4</sup>

### abstract

In rivers spatially ephemeral rivers, volume of water in downstream reduced due to transmission losses. Thus the modeling such process is important in water resources management and river engineering. In this study, using gene expression programming, transmission losses in zangmar River that is located in northwest Iran, based on observations input and output hydrographs in Mako and Poldasht stations has been calculated. After the introduction of various terminals and commen function in gene expression programming model, the output hydrograph in downstream stations were simulated. Statistical indices showed that the gene expression programming model predict output hydrograph acceptable so that the estimated output losses in comparison with the observed values is 7/4%.

**keywords:** flood hydrograph, gene expression programming, transmission losses Zangmar River.

1- Phd student of civil engineering, science and research campus of Islamic Azad univercity

(\* - Corresponding Author Email: khalaj\_masumeh@yahoo.com)

2-Phd student of water resource management, Tabriz Univercity

3- Associate Professor, Department of Water Engineering, Tabriz University

4- Deputy Director of Research & Development of Water Organization of West Azarbaijan