

بررسی عملکرد روش برنامه ریزی بیان ژن در روندیابی سیلاب رودخانه زنگمار در مقایسه با روش موج دینامیکی

رسول قبادیان^{۱*} - محمد علی قربانی^۲ - معصومه خلیج^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۴/۱۹

چکیده

روش برنامه ریزی بیان ژن جدیدترین شیوه از بین روش های الگوریتم تکاملی می باشد که به دلیل دارا بودن دقت کافی، از کاربرد بیشتری برخوردار است. این روش با استفاده از اطلاعات موجود در داده ها و بدون هیچ فرضیه ای در ساختار رابطه بین متغیر های مستقل و وابسته، رابطه ای مناسب بین آنها برقرار کرده و هیدروگراف خروجی را پیش بینی می کند. روش موج دینامیکی جزء روش های پیچیده روندیابی سیلاب است. لذا در این تحقیق مدل کامپیوتری نوشته شده که در آن روندیابی به روش موج دینامیکی با حل کامل معادلات سنت و نانت به روش تفاضل محدود با در نظر گرفتن تلفات انتقال در مسیر رودخانه انجام شده و سپس با استفاده از پارامتر های آماری، میزان عملکرد مدل برنامه ریزی بیان ژن در مقایسه با مدل موج دینامیکی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج روندیابی شش هیدروگراف سیل، بین سال های ۸۴ تا ۸۸ نشان داد مدل برنامه ریزی بیان ژن قادر است با دقت بیشتری حجم هیدروگراف خروجی را پیش بینی کند. در خصوص دبی پیک و زمان وقوع آن مدل موج دینامیک برتری دارد. مدل موج دینامیکی به طور متوسط با خطایی برابر با ۷/۲۵٪ و مدل برنامه ریزی بیان ژن با خطایی برابر با ۱۷٪ دبی پیک هیدروگراف خروجی را پیش بینی می کنند. همچنین میانگین خطای مدل های مذکور در پیش بینی زمان وقوع دبی پیک به ترتیب ۱/۴۵٪ و ۲/۲۵٪ است.

واژه های کلیدی: روندیابی سیلاب، رودخانه زنگمار، موج دینامیکی، برنامه ریزی بیان ژن

مقدمه

در این خصوص انجام شده است. قربانی و همکاران (۶) عملکرد سه روش برنامه ریزی ژنتیک، شبکه عصبی و نروفازی را در روندیابی سیلاب رودخانه قزل ایرماق ترکیه مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج مطالعه آنها نشان داد مدل برنامه ریزی ژنتیک با دقت بیشتری هیدروگراف خروجی را شبیه سازی می کند. آیتک و همکاران (۲) برای مدل سازی بارش - رواناب در حوضه رودخانه جونیاتا در پنسیلوانیای آمریکا از دو روش شبکه عصبی مصنوعی و برنامه ریزی بیان ژن استفاده کردند. مقایسه نتایج نشان داد روش برنامه ریزی بیان ژن در مقایسه با شبکه عصبی مصنوعی عملکرد بهتری داشته است. در خصوص روش های مرسوم روندیابی سیلاب که همزمان تلفات نشت را نیز در نظر بگیرند تحقیقاتی انجام شده است. قبادیان (۱) مدلی برای مقاطع نامنظم رودخانه ای تهیه کرد؛ نتایج تحقیق انجام شده توسط او نشان داد در صورت استفاده از رابطه موسکات برای برآورد تلفات نشت، مدل نوشته شده زمان شروع و اوج سیلاب را به درستی تخمین زده و تلفات انتقال را با خطای کمتر از ۲۰٪ برآورد می کند. مطالعات بروتو و گورجنز (۳) بر روی

استان آذربایجان غربی دومین استان پر آب کشور محسوب می شود، با این حال از بین رودخانه های متعددی که در این استان جاری هست فقط تعداد معدودی نقشه برداری شده و مقاطع عرضی مربوط به آنها موجود است. استفاده از روش موج دینامیکی برای روندیابی سیلاب نیاز به نقشه برداری مقاطع عرضی و داده های هیدرومتری دارد. از این رو استفاده از روش های مذکور برای روندیابی سیلاب پر هزینه، وقت گیر و در بعضی مواقع به علت در دسترس نبودن داده های مربوط به مقاطع عرضی غیر ممکن است؛ از این رو لزوم بررسی تکنیک های هوش مصنوعی و از آن جمله برنامه ریزی بیان ژن، بیش از پیش احساس می شود و تحقیقاتی اندک نیز

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی کرمانشا
* نویسنده مسئول: (Email: Rsgobadian@gmail.com)

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه رازی

می‌دهد. ایستگاه ماکو در موقعیت جغرافیایی $36^{\circ} 31' 31''$ طول و $39^{\circ} 17' 31''$ عرض جغرافیایی و ایستگاه پلدشت در موقعیت $36^{\circ} 31' 36''$ طول و $45^{\circ} 31' 48''$ 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 پایین دست بین ۰/۰۳ تا ۰/۰۷ است. تراز آب زیرزمینی در عمق ۸۰ تا ۹۰ متر زیر سطح زمین قرار دارد و با توجه به مشخصات رودخانه از قبیل نوع و تراکم پوشش گیاهی و شکل مسیر، ضریب زبری در مسیر رودخانه، متغیر و بین ۰/۰۳۵ تا ۰/۰۵ است. شکل ۲ هیدروگراف های سیلاب اندازه گیری شده در دو ایستگاه مذکور را بین سال های ۸۴ تا ۸۹ نشان می‌دهد.

مقایسه هیدروگراف‌های اندازه گیری شده بین دو ایستگاه نشان می‌دهد در بیشتر موارد در ایستگاه ماکو دبی پایه وجود دارد ولی دبی پایه در ایستگاه پلدشت بسیار ناچیز یا وجود ندارد که این خود نشان دهنده وجود تلفات نشست در بازه مورد نظر است. این موضوع در قسمتهای بعدی با جزئیات بیشتر تشریح خواهد شد.

معادلات حاکم در مدل موج دینامیکی

مطالعات انجام شده روی ۱۰ هیدروگراف سیل اندازه گیری شده در ایستگاه های ماکو و پلدشت بین سال های ۸۴ تا ۸۹، نشان می‌دهد به طور متوسط حدود ۷۴ درصد از حجم هیدروگراف ورودی، در انتقال از ایستگاه ماکو تا ایستگاه پلدشت تلف می‌شود؛ به دلیل کوهستانی بودن منطقه، تلفات ناشی از تبخیر نمی‌تواند قابل توجه باشد.

رودخانه لینیوپو در ناحیه نیمه خشک آفریقای جنوبی نشان داد تلفات انتقال آب در این رودخانه تا ۳۰ درصد نیز می‌رسد. مطالعات دی وریز و سیمرز (۴) نشان داد تلفات آب از رودخانه های فصلی به عنوان یک عامل مهم در جایگزینی آب برداشت شده از سفره آب زیرزمینی می‌باشد. دیدگاه های مختلفی در زمینه روندیابی سیلاب در رودخانه‌های فصلی و برآورد تلفات انتقال در آنها مطرح شده که ویوارلی و پررا (۸) این دیدگاه‌ها را در پنج دسته طبقه‌بندی کردند: ۱- معادلات رگرسیونی ساده، ۲- معادله‌های دیفرانسیلی ساده شده، ۳- استفاده ترکیبی از معادله‌های رگرسیونی ساده و دیفرانسیلی ساده شده، ۴- مدل‌های روندیابی جریان و ۵- بیان هیدرولوژیکی؛ با توجه به نظر لین و همکاران (۷) از میان روش های ذکر شده روش ترکیبی، قابل اعتمادتر است.

به طور کلی اهداف این تحقیق مقایسه عملکرد دو مدل موج دینامیکی با در نظر گرفتن تلفات نشست و برنامه ریزی بیان ژن در روندیابی سیلاب رودخانه فصلی زنگمار، به دست آوردن بینش کلی نسبت به توانایی هر کدام از روش‌های مذکور، جلوگیری از استفاده از مدل های پیچیده و مشکل و دفاع از انتخاب مدل های خاص برای مسائل خاص بوده است.

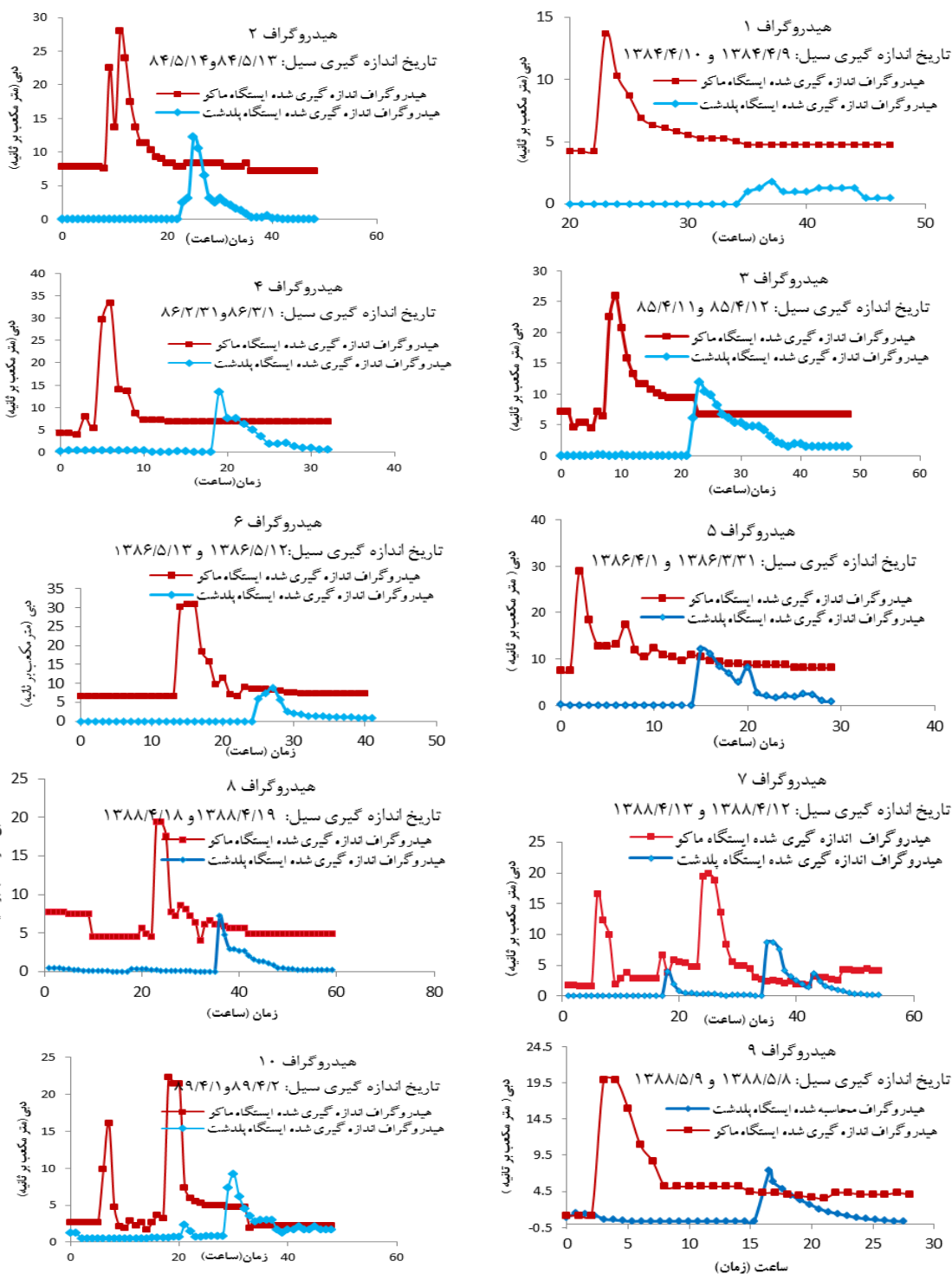
مواد و روش ها

مشخصات عمومی منطقه

رودخانه زنگمار در شمال غربی ایران، یکی از زهکش های اصلی حوضه ارس به شمار می‌رود. در این تحقیق برای روندیابی سیلاب رودخانه زنگمار از داده های هیدرومتری ایستگاه های ماکو و پلدشت استفاده شده است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی رودخانه زنگمار را در حد فاصل بین ایستگاه های هیدرومتری ماکو و پلدشت نشان



شکل ۱- پلان رودخانه زنگمار حد فاصل بین ایستگاه های هیدرومتری ماکو و پلدشت



شکل ۲- هیدروگراف های سیل اندازه گیری شده در ایستگاه های ماکو و پلدشت

است معادلات روندیابی سیلاب توسعه داده شوند تا بتوانند برآوردی از تلفات انتقال، به دست دهند. از این رو روندیابی سیلاب در این

بنابراین کاهش حجم آب در پایین دست و تنزل دبی اوج می‌تواند ناشی از نفوذ آب در بستر، سواحل، و دشت های سیلابی باشد لذا لازم

$$c_i = -\frac{\beta Q_i^n T_{wi}^n}{A_i^n \times \Delta t} + \frac{g A_i^n \theta}{x_{i+1} - x_{i-1}}$$

$$b_i = \frac{1}{\Delta t} \frac{2\beta\theta k (z_i^n - z_{\min i}) \left[1.071 \left(\frac{T_{wi}^n}{(z_i^n - z_{\min i})} + 1.786 \right) \right] \frac{m}{1.5}}{A_i^n}$$

$$d_i = \frac{Q_i^n}{\Delta t} + \frac{2\beta(1-\theta)k (z_i^n - z_{\min i}) \left[1.071 \left(\frac{T_{wi}^n}{(z_i^n - z_{\min i})} + 1.786 \right) \right] \frac{m}{1.5}}{A_i^n}$$

$$\frac{\beta Q_i^n T_{wi}^n (Z_{i+1}^n + Z_{i-1}^n)}{A_i^n \Delta t} - g A_i^n (1-\theta) \frac{Z_{i+1}^n - Z_{i-1}^n}{x_{i+1} - x_{i-1}}$$

در روابط بالا n و n+1 نشان دهنده گام های زمانی، z_{min i} حداقل رقوم مقطع شماره i و θ پارامتر وزنی مربوط به زمان است که اگر برابر با صفر در گرفته شود روش کاملا صریح و اگر یک باشد روش کاملا ضمنی برای منفصل کردن استفاده شده است. به منظور حل معادلات ۴ و ۵، و به دست آوردن دبی و عمق جریان، در مقاطع مورد نظر در هر زمان مطلوب مدل کامپیوتری در محیط ویژوال بیسیک نوشته شده که در آن دستگاه معادلات سه قطری حاصل شده با الگوریتم ماتریس سه قطری^۱ حل می شود. اطلاعات مقاطع عرضی و شرایط مرزی بالادست و پایین دست در محیط اکسل وارد شده و سپس در محیط ویژوال بیسیک فراخوانی می شوند.

برنامه ریزی بیان ژن

GEP^۲ روشی مناسب برای مدلسازی فرایند های غیر خطی و پیچیده است. در این تحقیق از برنامه ریزی بیان ژن که شکل توسعه یافته برنامه ریزی ژنتیک است برای روندیابی سیلاب رودخانه زنگمار استفاده شده است. این نوع الگوریتم افرادی کدگذاری شده به شکل کروموزوم های خطی با طول ثابت و قابل بیان به شکل ساختارهای شاخه ای هستند. ساختار خطی کروموزوم ها موجب می شود استفاده از عملگرهای ژنتیکی نظیر جهش و ترکیب همیشه ساختارهای صحیح و معتبری تولید کند. نرم افزار مورد استفاده در این تحقیق نرم افزار GeneXproTools، فریرا (۵) است. اولین مرحله در روندیابی سیلاب به کمک این نرم افزار، تولید جمعیت اولیه از راه حل هاست که به کمک یک سری توابع و ترمینال ها صورت می گیرد. سپس کروموزوم ها به صورت بیان درختی^۳ نشان داده می شوند؛ در مرحله بعد باید کارایی یا سازگاری هر عضو جمعیت کروموزوم ها را به کمک

رودخانه با حل همزمان معادلات سنت و نانت و با در نظر گرفتن تلفات نشت انجام می شود. شکل کلی معادلات مذکور که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته به صورت زیر بیان می شود.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{2\beta Q T_w}{A} \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{2\beta Q q_L}{A} - \beta \frac{Q^2}{A^2} \frac{\partial A}{\partial x} = -g A \frac{\partial A}{\partial x} - g \frac{n_m^2 Q |Q|}{AR^{(4/3)}} \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + T_w \frac{\partial Z}{\partial t} = q_L \quad (2)$$

در روابط بالا Q = دبی، A = سطح مقطع جریان، Z = رقوم سطح آب، T_w = عرض سطح آب، β = ضریب تصحیح اندازه حرکت، n_m = ضریب زبری مانینگ، R = شعاع هیدرولیکی، q_L = دبی جریان ورودی یا خروجی در واحد طول کانال است که در این تحقیق برابر با تلفات نشت در نظر گرفته شده و برای محاسبه آن از رابطه موسکات استفاده می شود.

$$q_L = ky \left[1.071 \left(\frac{T}{y} \right) + 1.786 \right] \times \left(\frac{m}{1.5} \right) \quad (3)$$

در رابطه بالا q_L (m³/s) دبی نشت، T(m) عرض سطح آب و m شیب جانبی کانال و y(m) عمق جریان است. با استفاده از روش تفاضل های محدود معادلات پیوستگی و اندازه حرکت منفصل شده اند، بازه رودخانه به صورت زیگزاگی شبکه بندی شده است. به این صورت که معادله پیوستگی بر روی مقاطع با شماره زوج و معادله مومنتم بر روی مقاطع با شماره فرد منفصل شده اند. شرط مرزی بالادست هیدروگراف ورودی به مقطع شماره ۱ و شرط مرزی پایین دست رابطه دبی-اشل در مقطع انتهایی می باشد. فرم خطی معادله پیوستگی روی گره های زوج وقتی که از رابطه موسکات برای نفوذ استفاده شود و حوزه میانی موجود نباشد به صورت زیر است:

$$a_i \times Q^{n+1}_{i-1} + b_i \times Z^{n+1}_i + c_i \times Q^{n+1}_{i+1} = d_i \quad (4)$$

که در آن:

$$a_i = -\frac{\theta}{x_{i+1} - x_{i-1}} = -c_i \quad b_i = \frac{T_{wi}^n}{\Delta t}$$

$$d_i = -\frac{(1-\theta)(Q_{i+1}^n - Q_{i-1}^n) + \frac{T_{wi}^n \times Z_i^n}{\Delta t}}{x_{i+1} - x_{i-1}}$$

$$-k (z_i^n - z_{\min i}) \left[1.071 \left(\frac{T_{wi}^n}{(z_i^n - z_{\min i})} + 1.786 \right) \right] \frac{m}{1.5}$$

همچنین منفصل کردن معادله اندازه حرکت روی مقاطع با شماره فرد رابطه خطی زیر را نتیجه می دهد.

$$a_i \times Z^{n+1}_{i-1} + b_i \times Q^{n+1}_i + c_i \times Z^{n+1}_{i+1} = d_i \quad (5)$$

در رابطه بالا :

$$a_i = -\frac{\beta Q_i^n T_{wi}^n}{A_i^n \times \Delta t} - \frac{g A_i^n \theta}{x_{i+1} - x_{i-1}}$$

- 1- Three Diagonal Matrix Algorithm
- 2- Gen Expression Programming
- 3- Expression tree structure

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |(Q_{e,i})_t - (Q_e)_t|}{n} \quad (8)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n ((Q_{e,i})_t - \bar{Q}_e)((Q_{e,i})_t - \bar{Q}_e)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n ((Q_{e,i})_t - \bar{Q}_e)^2 \sum_{i=1}^n ((Q_{e,i})_t - \bar{Q}_e)^2}} \quad (9)$$

در روابط بالا Q_e مقدار دبی اندازه گیری شده و $Q_{e,i}$ مقدار دبی به دست آمده با مدل برنامه ریزی بیان ژن است.

نتایج و بحث

ارزیابی مدل موج دینامیک از نقطه نظر صحت برنامه نویسی

برای بررسی این موضوع که مدل توانایی شبیه سازی جریان ماندگار و غیر ماندگار را دارد از ۵۲۲ مقطع عرضی رودخانه زنگمار استفاده شد. در شکل ۳ تعدادی از مقاطع رودخانه مذکور نشان داده شده است. ضریب زبری مانینگ از ۰/۳۵ تا ۰/۰۵ برای مقاطع مختلف در نظر گرفته شد. مقاطع عرضی رودخانه مذکور به همراه هیدروگراف دوزنقه ای به عنوان شرط مرزی بالادست و رابطه دبی-اشل (شکل ۴) به عنوان شرط مرزی پایین دست به مدل معرفی شد. تحت شرایط حاکم بر رودخانه با استفاده از روش سعی و خطا پارامتر $\theta = ۰/۷۵$ بدست آمد، همچنین گام زمانی مناسب، ۲۵ ثانیه تعیین شد. با این شرایط و فرض غیر قابل نفوذ بودن بستر رودخانه مدل اجرا گردید. هیدروگراف ورودی و هیدروگراف خروجی محاسبه شده در دو مقطع ۲۰۰ و ۵۰۰ در شکل ۵ ارائه شده که نشان می دهد هیدروگراف مقاطع میانی و خروجی زمانی که هیدروگراف ورودی به حالت ثابت در آمده افقی شده اند لذا می توان نتیجه گرفت که مدل توانایی شبیه سازی جریان ماندگار را دارد. از طرفی محاسبات نشان می دهند حجم سیلاب هیدروگراف ورودی و هیدروگرافهای محاسبه شده در مقاطع ۲۰۰ و ۵۰۰ به ترتیب ۵۷۰۲۴۰۰، ۵۶۴۴۸۰۰ و ۵۷۱۳۲۰۰ متر مکعب است که اختلافی برابر با ۱٪ بین حجم هیدروگراف های محاسبه شده و ورودی نشان دهنده دقت بالای مدل در ارضای رابطه پیوستگی است.

تابع برازش ارزیابی کرد. تابع برازش مورد استفاده در این تحقیق به صورت زیر تعریف می شود:

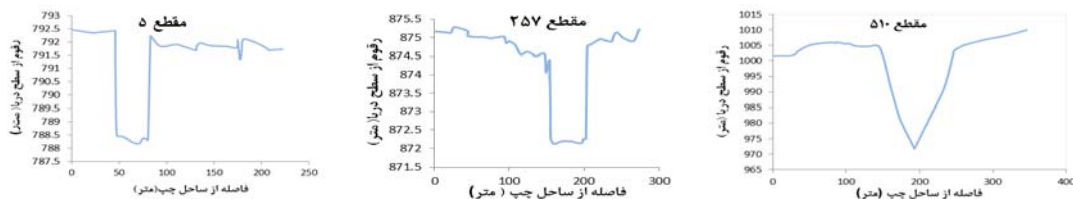
$$f_i = \sum_{j=1}^n \left(R - \frac{P_{ij} - T_j}{T_j} \right) 100 \quad (6)$$

در رابطه بالا R محدوده انتخابی، P_{ij} مقدار پیش بینی شده به وسیله برنامه i برای مورد برازش j است و T_j مقدار هدف برای مورد برازش j است. بدین ترتیب به کمک تابع برازش و حفظ جواب های برتر و حذف جواب های ضعیف تر به جواب مطلوب نزدیک می شویم. از این رو رابطه بین متغیر های وابسته و مستقل ثابت نیست و پیوسته تغییر می کند. به طور کلی فرآیند گام به گام مدل برنامه ریزی بیان ژن به صورت زیر می باشد:

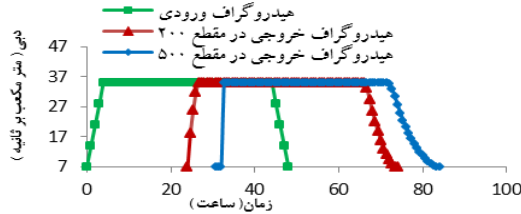
- ۱- فرایند با تولید تصادفی کروموزوم ها از تعداد معینی جمعیت اولیه آغاز می شود.
- ۲- کروموزوم ها به صورت بیان درختی اظهار می شوند.
- ۳- میزان مطلوبیت هر جواب بالقوه مسئله (کروموزوم) و درجه سازگاری آن ارزیابی می شود.
- ۴- اگر شرایط مطلوب حاصل شده باشد برنامه متوقف و جمعیت موجود جواب مطلوب را نشان می دهد در غیر اینصورت:
- ۵- بهترین افراد از جمعیت حاضر نگه داشته می شود.
- ۶- بقیه افراد جمعیت حاضر براساس عملکردشان انتخاب می شوند.
- ۷- اصلاحات و بهبودهایی (تکثیر و جهش) روی جمعیت انتخاب شده صورت می گیرد، در نتیجه فرزندان با ویژگی های جدید تولید می شوند.
- ۸- فرزندان جدید، در یک چرخه، تحت همان فرایند توسعه قرار می گیرند و این فرایند برای تعداد معینی از نسل ها تکرار می شود تا راه حل مناسبی پیدا شود.

در این تحقیق، عملکرد مدل های برنامه ریزی بیان ژن و موج دینامیکی در پیش بینی هیدروگراف خروجی با استفاده از پارامتر های آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب همبستگی (R^2)، مورد بررسی قرار گرفت تا دقت آنها نسبت به یکدیگر در مقایسه با داده های صحرائی مورد ارزیابی قرار گیرد.

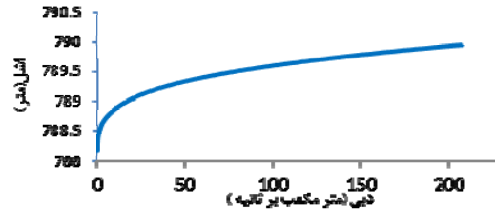
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((Q_{e,i})_t - (Q_e)_t)^2}{n}} \quad (7)$$



شکل ۳- برخی مقاطع عرضی رودخانه زنگمار



شکل ۵- هیدروگراف ورودی و هیدروگراف های روندیابی شده



شکل ۶- رابطه دبی - اشل ایستگاه هیدرومتری پلدشت

خروجی محاسبه شده، اختلاف داشته از این رو می توان نتیجه گرفت مدل با دقت بالا توانایی ارضای رابطه پیوستگی را دارد. تفاوت زیاد بین حجم هیدروگراف های ورودی و خروجی اندازه گیری شده و عدم وجود شاخه ای که از رودخانه زنگمار منشعب شود، باعث می شود توجه ما به پدیده ای به نام تلفات انتقال آب جلب شود. از این رو در مرحله بعد روندیابی سیلاب با اصلاح معادلات سنت و نانت و در نظر گرفتن تلفات انتقال با استفاده از رابطه موسکات انجام شد و در قدم اول هدایت هیدرولیکی رودخانه زنگمار محاسبه شد. لازم به ذکر است در این تحقیق از مقاطع طبیعی رودخانه زنگمار استفاده شده است و شیب جانبی کانال (m) در رابطه موسکات (رابطه ۳) شیب جانبی متوسط مقطع است که در مدل محاسبه شده است. این پارامتر برای هر مقطع متفاوت و مقدار آن از ۰/۱ تا ۸ در طول بازه تغییر می یابد.

مقایسه نتایج مدل موج دینامیکی با اندازه گیری های صحرائی

به منظور ارزیابی مدل موج دینامیکی در شبیه سازی هیدروگراف خروجی از داده های اندازه گیری شده رودخانه زنگمار، در ایستگاه های ماکو و پلدشت استفاده شد. هیدروگراف شماره ۴ (شکل ۲)، اندازه گیری شده در ایستگاه ماکو به عنوان شرط مرزی بالادست به مدل معرفی شد و با در نظر گرفتن رابطه دبی-اشل (شکل ۴)، به عنوان شرط مرزی پایین دست و گام زمانی برابر با ۲۵ ثانیه و $\theta = 0.75$ روندیابی سیلاب توسط مدل انجام شد. نتایج این روندیابی در شکل ۶ و جدول ۱ نشان می دهد مدل نوشته شده زمان وقوع سیل و زمان نقطه اوج هیدروگراف را در مقایسه با داده های صحرائی به درستی مدل می کند، همچنین حجم سیلاب هیدروگراف ورودی برابر با ۱۰۰۰۰۰۸ متر مکعب است که ۰/۸ درصد با حجم هیدروگراف



شکل ۷- هیدروگراف های ورودی و خروجی اندازه گیری شده در تاریخ ۱۳۸۶/۲/۳۱ و ۱۳۸۶/۳/۱ و هیدروگراف محاسبه شده توسط مدل موج دینامیکی بدون در نظر گرفتن تلفات انتقال

جدول ۱ - مشخصات هیدروگراف خروجی اندازه گیری شده در تاریخ ۱۳۸۶/۲/۳۱ و ۱۳۸۶/۳/۱ و هیدروگراف شبیه سازی شده به وسیله مدل موج دینامیکی بدون در نظر گرفتن تلفات انتقال

مشخصات هیدروگراف	هیدروگراف اندازه گیری شده	هیدروگراف محاسبه شده	خطای مدل عددی
حجم سیلاب (m ³)	۲۱۲۰۲۹/۲	۱۰۰۰۰۰۷/۲	۷۸٪
زمان نقطه اوج هیدروگراف (hr)	۱۹	۱۸/۵	۲/۶٪
دبی پیک هیدروگراف (m ³ /s)	۱۳/۴۳	۲۲/۴۲	۴۰٪
زمان شروع سیل (hr)	۱۸	۱۷	۵/۵٪

۴، ۱۰ (شکل ۲)، که برای آموزش مدل انتخاب شده اند و هیدروگراف اندازه گیری شده در تاریخ ۸۶/۴/۱ و ۸۶/۳/۳۱ که برای تست مدل انتخاب شده در جدول ۳ آورده شده تا ضمن ارزیابی الگوهای متفاوت پارامترهای ورودی، بهترین الگو جهت مدل سازی هیدروگراف خروجی در ایستگاه پلدشت انتخاب شود. همان طور که در جدول مذکور مشاهده می شود با توجه به حداکثر مقدار تابع برازش به دست آمده و پارامترهای آماری ارائه شده، 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 ۱۰ تعریف شده است.

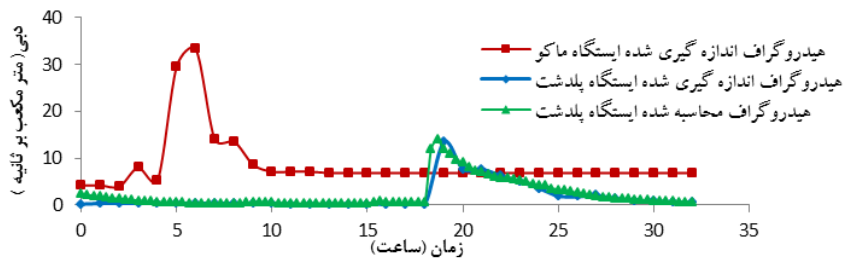
$$Q_t = f(I_t, I_{t-1}, I_{t-2}, Q_{t-1}, Q_{t-2}) \quad (10)$$

در رابطه بالا، I_t جریان ورودی در زمان حال، I_{t-1} جریان ورودی در زمان $t-1$ ، 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. نتایج روندیابی هیدروگراف سیل مذکور با مدل برنامه ریزی بیان ژن و با استفاده از الگوی ۱۰، در جدول ۴ و شکل ۸ ارائه شده است که نشان می دهد مدل مذکور قادر است با دقت خوبی هیدروگراف خروجی را پیش بینی کند.

با توجه به طولانی بودن مسیر رودخانه تعیین هدایت هیدرولیکی خاک بستر رودخانه با استفاده از روش های صحرایی مشکل بوده، از این رو برای تعیین هدایت هیدرولیکی خاک بستر رودخانه به این صورت اقدام شد که مدل عددی، برای شرایط ذکر شده، با در نظر گرفتن گام زمانی ۲۵ ثانیه و $\theta = 0.75$ با نفوذ پذیری های مختلف اجرا گردید و هیدروگراف خروجی مدل با هیدروگراف اندازه گیری شده در ایستگاه پلدشت مقایسه شد. نهایتاً مقدار هدایت هیدرولیکی بستر رودخانه به طور متوسط $k = 4.8 \times 10^{-6} m/s$ محاسبه گردید. تحت این شرایط نتایج روندیابی در شکل ۷ و جدول ۲ آورده شده که نشان می دهد در صورتی که روندیابی با اصلاح معادلات سنت و نانت و در نظر گرفتن تلفات نشست انجام شود نتایج به دست آمده با مدل برازش خوبی با اندازه گیری های صحرایی خواهد داشت؛ از این رو در مرحله بعد روندیابی هیدروگراف های ۱ و ۵ تا ۹ ارائه شده در شکل ۲، با در نظر گرفتن تلفات انتقال انجام شد.

روندیابی سیلاب با مدل برنامه ریزی بیان ژن

برای روندیابی سیل رودخانه زنگمار متغیرهای ورودی در مقیاس های زمانی مختلف در پنج ترکیب متفاوت به مدل معرفی شد تا بهترین حالت ممکن جهت پیش بینی هیدروگراف خروجی انتخاب گردد. مقادیر تابع برازش، ضریب همبستگی و جذر میانگین مربعات خطا، مربوط به شبیه سازی هیدروگراف های اندازه گیری شده ۲، ۳،



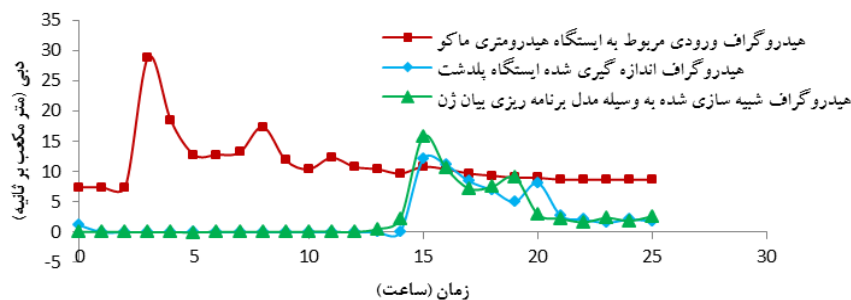
شکل ۷- هیدروگراف های ورودی و خروجی اندازه گیری شده در تاریخ ۱۳۸۶/۲/۳۱ و ۱۳۸۶/۳/۱ و هیدروگراف محاسبه شده توسط مدل نوشته شده با در نظر گرفتن تلفات انتقال

جدول ۲- مشخصات هیدروگراف خروجی اندازه گیری شده در تاریخ ۱۳۸۶/۲/۳۱ و ۱۳۸۶/۳/۱ و هیدروگراف شبیه سازی شده به وسیله مدل موج دینامیکی با در نظر گرفتن تلفات انتقال

مشخصات هیدروگراف	هیدروگراف اندازه گیری شده	هیدروگراف محاسبه شده	خطای مدل عددی
حجم سیلاب (m^3)	۲۱۲۰۲۹/۲	۲۱۷۲۲۴	۲/۴٪
زمان نقطه اوج هیدروگراف (hr)	۱۹	۱۸/۶۶	-۱/۷٪
دبی پیک هیدروگراف (m^3/s)	۱۳/۴۳	۱۳/۹۷	۳/۸٪
زمان شروع سیل (hr)	۱۸	۱۷	-۵/۵٪

جدول ۳- پارامترهای آماری دقت مدل های حاصل از برنامه ریزی بیان ژن

تست		آموزش		مقدار تابع	الگوی ورودی
MSER	R	MSER	R	برازش	
۳/۹۹	-۰/۳	۳/۹۹	-۰/۳۹	۵۴۳/۳	I_t
۴/۲	-۰/۳	۲/۱۸	-۰/۳۳	۵۵۲/۰۶	I_t, I_{t-1}
۳/۵۲	-۰/۲۷	۲/۱۶	-۰/۳۵	۵۵۴/۰۹	I_t, I_{t-1}, I_{t-2}
۱/۹۷	۰/۷	۱/۱۵	-۰/۸۲	۷۰۰/۴۴	$I_t, I_{t-1}, I_{t-2}, Q_{t-1}$
۱/۵۸	-۰/۸۴۲	-۰/۶۵۴	-۰/۹۴۷	۸۰۷/۵۵	$I_t, I_{t-1}, I_{t-2}, Q_{t-1}, Q_{t-2}$



شکل ۸- هیدروگراف های ورودی و خروجی اندازه گیری شده در تاریخ ۱۳۸۶/۳/۳۱ و ۱۳۸۶/۴/۱ و هیدروگراف محاسبه شده با مدل برنامه ریزی بیان ژن

جدول ۴- مشخصات هیدروگراف خروجی اندازه گیری شده در تاریخ ۱۳۸۶/۳/۳۱ و ۱۳۸۶/۴/۱ و هیدروگراف شبیه سازی شده به وسیله مدل برنامه ریزی بیان ژن

مشخصات هیدروگراف	هیدروگراف اندازه گیری شده	هیدروگراف محاسبه شده	خطای مدل GEP
حجم سیلاب (m^3)	۲۴۵۲۵۷/۷	۲۴۵۴۵۲	٪-۰/۰۸
زمان نقطه اوج هیدروگراف (hr)	۱۴	۱۴	٪۰
دبی پیک هیدروگراف (m^3/s)	۱۲/۱	۱۵/۷	٪۲۲
زمان شروع سیل (hr)	۱۴	۱۳	٪-۷/۱

کاربرد هر کدام از این روش ها در جدول ۵ ارائه شده است که نشان می دهد مدل برنامه ریزی بیان ژن با دقت بالاتری قادر به شبیه سازی هیدروگراف خروجی است. بدون شک علت این برتری نسبی در ساختار متفاوت مدل برنامه ریزی بیان ژن نسبت به مدل موج دینامیکی نهفته است. مدل برنامه ریزی بیان ژن از اطلاعات موجود در داده های ورودی، برای رسیدن به جواب نهایی استفاده می کند در حالی که دقت مدل موج دینامیکی در به دست آوردن جواب نهایی کاملاً متاثر از مشخصات مقاطع عرضی رودخانه می باشد. بدیهی است علاوه بر خطای روش های عددی و خطای ناشی از فرضیات اعمال شده در روابط سنت و نانت، تغییر مقاطع عرضی رودخانه و تغییر هدایت هیدرولیکی بستر رودخانه طی سال های مختلف و خطا در تخمین ضریب زبری مانینگ، می تواند در پیش بینی هیدروگراف خروجی موثر باشد. همچنین از آنجایی که رابطه شبه دائمی موسکات

در نهایت با استفاده از الگوی به دست آمده و رابطه ای که توسط مدل برنامه ریزی بیان ژن بین هیدروگراف ورودی و خروجی به دست می آید، هیدروگراف های ۱ و ۶ تا ۹ که در شکل ۲ ارائه شده، روندیابی شد که نتایج آن در ادامه آورده شده است.

مقایسه مدل های موج دینامیکی و برنامه ریزی بیان ژن

واضح است که توانایی هر کدام از مدل های برنامه ریزی بیان ژن و موج دینامیکی با توجه به ساختارهای مختلف آنها و نیز طبیعت مسئله ای که به دنبال حل آن هستیم متفاوت می باشد. از این رو لازم هست که نقاط ضعف و قوت آنها نسبت به یکدیگر مورد بررسی قرارگیرد. در این تحقیق میزان عملکرد هر کدام از روش های مذکور در پیش بینی شش هیدروگراف خروجی اندازه گیری شده مورد بررسی قرار گرفته است. مقایسه شاخص های آماری مربوط به نتایج

ماندگار موسکات جفت شد. همچنین نتایج نشان داد در صورت روندیابی سیلاب رودخانه زنگمار با در نظر گرفتن تلفات انتقال با رابطه موسکات، مدل نوشته شده، با دقت بسیار خوبی هیدروگراف خروجی در ایستگاه پلدشت را شبیه سازی می کند. برای بررسی عملکرد مدل برنامه ریزی بیان ژن نسبت به مدل موج دینامیکی، روندیابی با مدل مذکور با استفاده از الگوی I_t ، I_{t-1} ، I_{t-2} ، Q_{t-2} ، Q_{t-1} انجام شد. بررسی نتایج روندیابی شش هیدروگراف سیل اندازه گیری شده با مدل های موج دینامیکی و برنامه ریزی بیان ژن نشان داد دقت مدل برنامه ریزی بیان ژن در شبیه سازی هیدروگراف خروجی بیشتر از مدل موج دینامیکی است همچنین بررسی دبی پیک و زمان وقوع آن توسط دو مدل نشان داد مدل موج دینامیکی عملکرد بهتری در برآورد دبی پیک دارد و زمان وقوع دبی پیک را به طور متوسط با خطایی برابر با ۱/۴۵ درصد نسبت به مقدار اندازه گیری شده پیش بینی می کند.

اساساً برای مقاطع منظم ارائه شده است لذا استفاده از این رابطه برای محاسبه مقدار تلفات نشت می تواند در مقدار خطای مدل عددی نوشته شده موثر باشد. بررسی دقیق تر عملکرد مدل های مذکور با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۶، نشان می دهد مدل برنامه ریزی بیان ژن به طور متوسط با خطایی برابر با ۱۷ درصد و مدل موج دینامیکی با خطایی برابر با ۷/۲۵ درصد دبی پیک هیدروگراف خروجی را پیش بینی می کنند و میانگین خطای مدل های مذکور در پیش بینی زمان وقوع دبی پیک به ترتیب ۲/۲۵ درصد و ۱/۴۵ درصد است. به طور کلی هر کدام از مدل ها از دقت خوبی در پیش بینی هیدروگراف خروجی برخوردارند و در کل نمی توان گفت کدام مدل بهتر است.

نتیجه گیری

در این تحقیق، برای روندیابی سیلاب رودخانه زنگمار، مدل کامپیوتری تهیه شد که در آن معادلات سنت و نانت با معادله شبه

جدول ۵- مقایسه آماری عملکرد مدل های موج دینامیکی و برنامه ریزی بیان ژن

برنامه ریزی بیان ژنتیک			موج دینامیکی			تاریخ اندازه گیری هیدروگراف سیل
RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²	
۱/۵۹	۰/۶۲	۰/۸۴	۱/۷	۱/۵۱	۰/۸۹	۱۳۸۶/۴/۱ تا ۱۳۸۶/۳/۳۱
۰/۷۵	۰/۳۷	۰/۸۸	۱/۲۴	۰/۸۹	۰/۷۷	۱۳۸۸/۵/۹ تا ۱۳۸۸/۵/۸
۰/۴۵	۰/۱۷	۰/۹۹	۰/۳۳	۰/۳۹	۰/۷	۱۳۸۴/۴/۹ تا ۱۳۸۴/۴/۱۰
۰/۶۳	۰/۲۴	۰/۵۶	۰/۷۶	۰/۷۳	۰/۹۲	۱۳۸۸/۳/۲۳ تا ۱۳۸۸/۳/۲۴
۱/۵۷	۰/۶۷	۰/۷۳	۱/۵۳	۰/۹۱	۰/۶۸	۱۳۸۸/۴/۱۲ تا ۱۳۸۸/۴/۱۳
۱/۰۸	۰/۳۳	۰/۶۹	۱/۶۹	۱/۳۲	۰/۵	۱۳۸۸/۴/۱۸ تا ۱۳۸۸/۴/۱۹
۱/۰	۰/۴	۰/۷۸	۱/۱۹	۰/۹۵	۰/۷۴	میانگین

جدول ۶- مقایسه عملکرد مدل های موج دینامیکی و برنامه ریزی بیان ژن در پیش بینی نقطه اوج و زمان وقوع آن

خطای مدل برنامه ریزی بیان ژن		خطای مدل موج دینامیکی		تاریخ اندازه گیری هیدروگراف سیل
زمان وقوع دبی پیک	دبی پیک	زمان وقوع دبی پیک	دبی پیک	
%۰	%۲۲	%۱/۱	%۲۰	۱۳۸۶/۴/۱ تا ۱۳۸۶/۳/۳۱
%-۵/۸	%-۱۴/۵	%-۲/۷	%۱/۶	۱۳۸۸/۵/۹ تا ۱۳۸۸/۵/۸
%۰	%۳۹	%۰	%۲/۲	۱۳۸۴/۴/۹ تا ۱۳۸۴/۴/۱۰
%۲/۸	%۱۹	%۰	%۵/۸	۱۳۸۸/۳/۲۳ تا ۱۳۸۸/۳/۲۴
%۲/۹	%۰	%۲/۹	%۹	۱۳۸۸/۴/۱۲ تا ۱۳۸۸/۴/۱۳
%-۲	%۱۰	%۲	%۴/۹	۱۳۸۸/۴/۱۸ تا ۱۳۸۸/۴/۱۹

منابع

- ۱- قبادیان ر. ۱۳۹۰. روند یابی سیلاب و تخمین تلفات نشت در رودخانه های فصلی با حل همزمان معادلات جریان غیر ماندگار و نشت. مجله آب و خاک مشهد. جلد ۵، شماره ۲.
- 2- Aytok A. and Kisi O. 2008. A genetic programming approach to suspended sediment modeling. *Journal of Hydrology* 351: 288-298.
- 3- Boroto R.A. and Gorgens A.H.M. 2003. Estimating transmission losses along the Limpopo River- an overview of alternative methods. *Hydrology of the Mediterranean and Semiarid Regions*. IAHS Publ. 278: 138-143.
- 4- De Vries J. and Simmers I. 2002. Ground water recharge: an overview of process and challenges. *Hydrology J.* 10: 5-17.
- 5- Ferreira C. 2001a. Gene expression programming in problem solving, In: 6th Online World Conference on Soft computing in Industrial Applications (Invited Tutorial).
- 6- Khatibi R. Ghorbani M.A., Hasanpourkashani M. and Kisi O. 2010. Comparison of three artificial intelligence techniques for discharge routing. *Journal of hydrology*, 403. iss. 3-4: 201-212
- 7- Lan L.J. Ferreira V.J. Shirley E.D. 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.
- 8- Vivarelli R. and Perera B.J.C. 2002. *Transmission losses in natural rivers and streams: a review*, Victoria University of Technology, Melbourne.



Comparison of Performance of Dynamic Wave and Gen Expression Programming Methods to River flood routing

R. Ghobadian^{1*}- M.A. Ghorbani²- M. Khalaj³

Received:24-12-2012

Accepted:10-07-2013

Abstract

Gen Expression Programming is the newest method of evolutionary algorithm methods that because of the sufficient accuracy, has more application. GEP using the information in the data and without any assumption on the structure of the relationship between independent and dependent variables identifies an appropriate relationship and predicts the output hydrograph. Dynamic wave method is one of the complicate methods in flood routing and because of the need to hydraulic and cross section data routing by this method is costly and time- consuming. In this study a computer model has been developed in which partial differential equations of unsteady none uniform flow, are solved by staggered method. This model can consider infiltration into river bed. Statistical indicator such as Coefficient of Correlation(R), Mean Absolute Error (MAE), Mean Square Relative Error (MSRE) and Relative Error (RE) are used to comparison two methods. The results of routing of 6 events between 1384 and 1388 indicate that performance of GEP model to predict the volume of output hydrograph is better than dynamic wave model. While, the ability of dynamic wave model to predict hydrograph peak flow and time of peak discharge is more reasonable than GEP model. Hydrograph peak flow discharge is calculated by dynamic wave model with 7.25% mean error and GEP model predict it with 17% error. Also mean error for prediction of time of peak discharge is 1.45% and 2.25% by mentioned models respectively.

Keywords: Flood routing, Zangmar River, Dynamic Wave, Gen Expression Programming

1- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University Kermanshah

(* - Corresponding Author Email: Rsgbobadian@gmail.com)

2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University

3 - MSc. Student of Irrigation and Drainage, Razi University