مجله کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی وسنجش از دور در برنامه ریزی،دوره ۱۰، شماره ۱،بهار۹۸

بهینه‌سازی ضرایب منطقه‌ای فرمول تجربی فولر با برنامه ریزی خطی و الگوریتم ژنتیک در حوزه‌های فاقد آمار به کمک داده‌های مکانی

تاریخ دریافت:۱۳۹۸/۰۱/۱۵ تاریخ پذیرش:۱۳۹۸/۰۲/۱۷

صفحات: ۱۸-۷

ابراهیم یوسفی مبرهن[۱]، ابراهیم کریمی سنگچینی[۲]، بهروز ارسطو[۳] و سید علی اصغر هاشمی[۴]

چکیده

برای محاسبه دبی اوج سیلاب در حوضه‌های فاقد آمار یکی از روش‌های مورد استفاده، روش‌های تجربی است. از روش‌های تجربی که در این تحقیق استفاده شده است، روش فولر بوده که محاسن آن نسبت به سایر روش‌های تجربی ارائه دوره‌های مختلف سیلاب می‌باشد. در این تحقیق، مقایسه تکنیک‌های بهینه‌سازی برنامه‌ریزی خطی[۱] و الگوریتم ژنتیک[۲] در بهینه‌سازی ضرایب فرمول تجربی فولر بترتیب در محیط برنامه‌نویسی اکسل[۳] و متلب[۴] برای حوضه‌های منتخب منطقه هدف قرار داده شده است. بدین منظور آمار دبی حداکثر ۲۴ ساعته ۹ ایستگاه موجود در استان آذربایجان غربی با طول دوره آماری ۲۱ سال مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه نتایج برتری روش الگوریتم ژنتیک و سپس برنامه‌ریزی خطی را نشان داد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های جستجوی هوشمند عملکرد روش‌های مرسوم را به میزان قابل توجهی بهبود می‌بخشد.

کلمات کلیدی: برنامه‌ریزی خطی، الگوریتم ژنتیک ، فرمول تجربی فولر، ضرایب منطقه‌ای .

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۱- استادیار، دکتری آبخیزداری، عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (e.yousefi.m@gmail.com).
۲- استادیار، دکتری آبخیزداری، عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان (e.karimi64@gmail.com).
۳- ق، کر سـ ر ، ، بلا و آ زش کشاورزی و منابع طلاع یـ استان سمنان (beharas2@gmail.com).
۴- استادیار، دکتری آبخیزداری، عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (hashemiaa12@gmail.com).

مقدمه

برآورد دقیق سیلاب مبنای طراحی سرریز سدها، زیر گذرهای جاده‌ها، طرح‌های آبخیزداری، پروژه‌های مهار سیلاب و غیره قرار می‌گیرد. اما در تعداد زیادی از رودخانه‌ها و حوضه‌های آبخیز کشور، عمدتاً به دلایل اقتصادی ایستگاه‌های هیدرومتری و یا باران سنجی وجود ندارد که برای جبران این مشکل، متخصصین سعی می‌کنند روابط موجود بین سیل‌خیزی و مشخصات حوزه آبخیز را به دست آورده و در برآورد سیلاب به نتایج مطلوب‌تری برسند (موسوی و همکاران، ۱۳۷۸). یکی از رابطه‌های متداول تجربی در برآورد دبی حداکثر رودخانه‌ها رابطه فولر است. که در کشور ما تاکنون بارها مورد استفاده قرار گرفته و بسیاری از سازه‌های آبی بر اساس نتایج آن طراحی شده‌اند. اخیرا یکی از مهمترین پیشرفت‌های حاصل در زمینه منابع آب بکارگیری و انطباق تکنیک‌های بهینه-سازی جهت برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت سیستم-های پیچیده منابع آب می باشد. روش‌های بهینه‌سازی ابزاری برای تعیین سیاست‌های تصمیم‌گیری بهینه می‌باشند. در روش بهینه‌سازی یک تصمیم بهینه برای عملکرد سیستم می‌توان یافت که همه قیود سیستم را برآورد سازد و در عین حال، یک هدف را کمینه یا بیشینه کند. در این مدل تابع هدف و محدودیت ها به صورت تابعی از متغیرهای تصمیم بیان می‌شوند. رائو روش‌های بهینه‌سازی را به دو دسته عمده تقسیم نمود. دسته اول روش‌های کلاسیک مبتنی بر ریاضیات و دسته دوم عبارتند از روش‌های جستجو یا عددی که شامل جستجوی مستقیم و غیرمستقیم می‌باشند. در روش‌های کلاسیک و جستجوی غیرمستقیم، تابع هدف می‌بایست تابعی پیوسته و مشتق پذیر باشد، و در روش‌های جستجوی مستقیم مانند پرش تصادفی، الگوریتم های مختلفی برای جستجوی ,نقطه به نقطه در فضای متغیرها بکار می‌رود (روآ، ۱۹۸۴). با توجه به موارد فوق، هدف این مقاله مقایسه روش‌های بهینه-سازی کلاسیک برنامه‌ریزی غیرخطی و نوع تکاملی GAبرای منطقه‌ای نمودن ضرایب فرمول تجربی فولر می‌باشد. همچنین تلاش خواهد شد تا عملکرد آنها در رسیدن به جواب سراسری و سرعت عمل بررسی و ارزیابی گردد.

فرمول فولر[1] برای اولین بار (۱۹۱۴) در ایالات شرقی آمریکا توسعه یافته است. در این روش حداکثر سیلاب صد جریان مورد ارزیابی واقع شده است از این روش به طور گسترده برای برآورد حداکثر سیلاب‌ها در مناطق مختلف دنیا استفاده می‌شود. تحقیقاتی در مورد برآورد این ضرایب انجام شده که در ذیل به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود:

مطالعات سابرامانیا[2] (۱۹۸۴)، در حوضه‌های ایالات متحده آمریکا نشان داد که ضریب منطقه‌ای فرمول فولر از ۰/۱۸ تا ۴/۵ تغییر می‌کند. سلاجقه و دستورانی (۲۰۰۶)، در تعیین ضرایب منطقه‌ای فرمول تجربی فولر جهت برآورد دبی‌های حداکثر لحظه‌ای در حوضه دشت کویر به این نتیجه رسیدند که دبی‌های برآوردی با استفاده از فرمول فولر کمتر از دبی‌های مشاهده‌ای بوده و ضریب منطقه‌ای (C) برای ناحیه مورد مطالعه، برابر ۰/۰۴۱ و ضریب طغیان منطقه‌ای (β)، بین ۰/۸۸ تا ۲/۳۳ در دوره بازگشت‌های ۵ تا ۲۰۰ سال می‌باشد. فلاح مهدی پور و همکاران (۱۳۸۷)، در استخراج منحنی فرمان بهره برداری مخزن دز بر اساس الگوریتم PSO و مقایسه آن با برنامه ریزی غیر خطی (NLP) به این نتیجه رسیدند که الگوریتم PSO برای سیاست بهره برداری از مخزن قابلیت بالاتری نسبت به برنامه ریزی خطی دارد. اجرای کامل برنامه ریزی غیر خطی (NLP) و GA را سیمسون[3] و همکاران در سال

[2]- Fuller
[2]- Sabramanya
[2]- Simp son

(۱۹۹۴)، برای یک شبکه لوله نمونه مقایسه نمودند و به این نتیجه رسیدند که GA قادر به یافتن جواب‌های قابل قبول است گرچه به عنوان مثال این نتیجه به دست آمد که GA دارای سرعتی برابر با NLP نیست. یوسفی و همکاران (۱۳۹۰) ارزیابی برنامه ریزی خطی در بهینه سازی ضرایب منطقه‌ای فرمول تجربی فولر در محیط اکسل را مطالعه نمودند و ضریب منطقه‌ای برای ناحیه مورد مطالعه، برابر۰/۱۹ و ضریب طغیان منطقه‌ای برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰و ۲۰۰سال به ترتیب ۰، ۰/۹۳، ۱/۱۶، ۱/۳۸، ۱/۵۳، ۱/۶۸ و ۱/۸۴ برآورد کردند. همچنین در پژوهشی دیگر یوسفی و همکاران (۱۳۹۱)، بهینه سازی ضرایب منطقه‌ای فرمول تجربی فولر با روش برنامه ریزی غیرخطی برای برآورد دبی‌های حداکثر لحظه‌ای در منطقه مورد مطالعه به این نتیجه رسیدند که ضریب منطقه‌ای برای ناحیه مورد مطالعه، برابر ۰/۱۹ و دامنه تغییرات ضریب طغیان منطقه‌ای بین ۰/۹۳تا۱/۶۸ برآورد گردید. فهیم و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیقی بهینه سازی ضرایب منطقه‌ای رابطه فولر با استفاده از الگوریتم جامعه ذرات در جنوب حوزه آبریز دریاچه ارومیه برای ضریب منطقه‌ای (C) برابر ۰/۳۱ و دامنه تغییرات ضریب طغیان منطقه ای(β) بین ۰/۹۵تا ۱/۳۱ برآورد گردید.

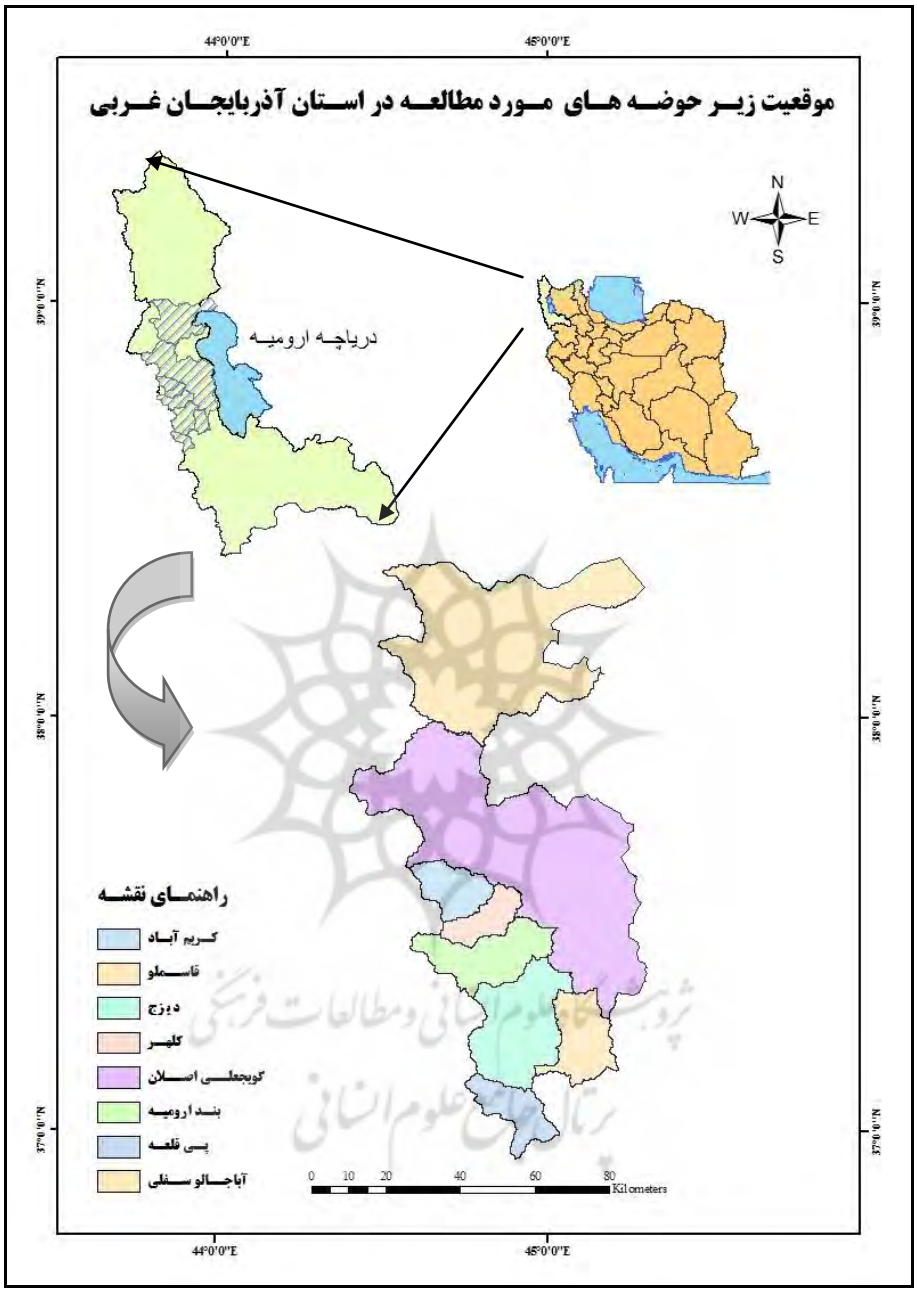
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان آذربایجان غربی در محدوده سه حوضه اصلی از حوضه‌های دوازده‌گانه کشور قرار دارد. در محدوده غرب دریاچه ارومیه رودخانه‌های زولاچای، نازلوچای، روضه‌چای، شهرچای، باراندوزچای، گادارچای، مهابادچای، سیمینه رود، زرینه رود جریان دارد که وسعت قابل توجهی از بارش های استان آذربایجان غربی را زهکشی می‌نمایند. مساحت استان با احتساب سطح دریاچه ارومیه ۴۲۲۵۲۰۱ هکتار و بدون احتساب دریاچه ۳۷۶۱۴۳۶ هکتار بوده حاکمیت اقلیم نیمه خشک در استان باعث شده که رودخانه‌ها از لحاظ میزان آبدهی در طول سال از نوسانات قابل توجه‌ای برخوردار باشند. تعداد ۸ ایستگاه هیدرومتری دارای آمار دبی حداکثر روزانه موجود در منطقه برای تعیین دو ضریب منطقه‌ای (C) و ضریب طغیان منطقه‌ای (β) انتخاب شدند که دوره آماری مشترک آنها ۲۱ سال است. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه و مشخصات آنها به ترتیب در شکل و جدول (۱) ارائه گردیده است.

جدول ۱: خصوصیات ایستگاه های هیدرومتری مورد استفاده به همراه مساحت آنها

کد ایستگاه	نام رودخانه	نام ایستگاه هیدرو متری	مساحت (کیلومتر مربع)
۳۵-۰۰۵	باراندوزچای	دیزج ارومیه	۶۲۸/۹۳۳
۳۵-۰۰۱	بالانچ	قاسملو	۳۲۱/۵۹
۳۵-۰۴۵	ارزین‌چای	کریم آباد ارزین	۵۰۶
۳۵-۰۳۹	روضه‌چای	کلهور	۱۷۹/۱۶
۳۵-۰۳۷	روضه‌چای	گویجعلی اصلان- پل‌ازیک	۴۷۳/۰۲
۳۵-۰۳۳	نازلوچای	آباجالوسفلی	۴۹۵/۵۱
۳۵-۰۱۱	شهرچای	بند ارومیه	۴۰۷/۸۵۹
۳۴-۰۱۱	گادار چای	پی قلعه	۲۵۰/۵۸



شکل۱: موقعیت جغرافیایی حوزه های آبخیز منتخب نسبت به استان و ایران

روش تجربی فولر:

فولر (۱۹۱۴)، اولین معادله تجربی را جهت تحلیل تناوب در دبی‌های ماگزیمم روزانه با استفاده از معادلات رایج تحلیل هیدرولوژیکی تناوب که توسط چاو بیان شده بود، بیان کرد. فرمول تجربی فولر نسبت به سایر روش‌ها به خاطر در نظر گرفتن دوره بازگشت دبی سیلاب دارای اهمیت است.

$$Q_{max} = C.A^{0.8}(1 + \beta \log T)$$ رابطه (۳-

$$Q_p = Q_{max}(1 + 2.66\ A^{-0.3})$$ رابطه (۳-

که در آن‌ها Q_{max} و Q_p به ترتیب دبی اوج ۲۴ ساعته و دبی اوج لحظه‌ای مربوط به آن بر حسب متر مکعب بر ثانیه در دوره بازگشت T سال است. مقدار C ضریبی است که بستگی به شرایط اقلیمی و جغرافیایی و خصوصیات حوزه داشته و می‌توان آن را با استفاده از آمار ایستگاه‌های موجود در یک منطقه به دست آورد و در حوزه‌های فاقد آمار به کار برد. در حوزه‌های مختلف مقدار این ضریب بین ۰/۰۲۶ و ۲/۷۷ بدست آمده است. A مساحت حوزه به کیلومتر مربع می‌باشد. β ضریب طغیان منطقه‌ای بوده و برای حوزه‌های معمولی برابر ۰/۸ در نظر گرفته می‌شود و در حوزه‌های بزرگ با بارندگی نامنظم می‌تواند مقادیری در حدود ۲ یا حتی بیشتر از آن داشته باشد. بهتر است این ضریب نیز با استفاده از آمار ایستگاه‌های یک منطقه به دست آمده و در سایر حوزه‌های فاقد آمار به کار گرفته شود. با توجه به اینکه استفاده از رابطه کریگر و فولر در آبخیزداری متداول است لذا شناخت ضریب منطقه‌ای آن بر اساس داده‌های موجود می‌تواند از خطای حاصل از تخمین کلی آن بکاهد (Jayarmi, Reddi, 1994).

در فرمول تجربی مبتنی بر سطح فولر نیاز به دبی‌های حداکثر ۲۴ ساعته با دوره بازگشت‌های مورد نظر می-باشد. به منظور برآورد دبی‌های حداکثر روزانه ایستگاه-ها در دوره بازگشت مشخص از توابع توزیع متداول در هیدرولوژی(توزیع نرمال، لوگ نرمال دو و سه پارامتری، پیرسون نوع سوم و لوگ پیرسون نوع سوم،گامای دو پارامتری و توزیع گمبل) و مدل SMADA استفاده شده است.

تعیین ضرایب منطقه‌ای

با استفاده از دبی‌های ماگزیمم روزانه برآورد شده به ازای دوره‌های بازگشت مختلف برای ۸ ایستگاه منطقه مورد مطالعه، ضریب منطقه‌ای (C) و ضریب منطقه‌ای تناوب سیلاب (β) برای دوره‌های بازگشت مختلف با استفاده از معادله‌های (۳-۳) و (۳-۴) برای ایستگاه‌ها و در کل منطقه با استفاده از برنامه‌ریزی خطی و الگوریتم‌های ژنتیک بهینه‌سازی شدند.

بهینه‌سازی ضرایب با مدل LP

برنامه‌ریزی خطی(LP) یکی از ساده‌ترین و کاربردی ترین مدل‌های بهینه‌سازی می باشد که معروفیت خود را مدیون روش ساده دازینگ۱ و انقلاب او در محاسبات است. مدل‌های بهینه سازی به دو دسته تقسیم می شوند: ۱- مدل بهینه‌سازی ریاضی (دستی)، ۲- مدل‌های بهینه‌سازی تکاملی(فراکاوشی). در این مدل‌های خطی رابطه بین متغیرهای تصمیم‌گیری در تابع هدف و در قیدها بایستی خطی باشد، در غیر این صورت تحت فرضیات مشخص می‌توان از مسایل غیرخطی را خطی کرده و سپس با آزمون و خطا یا روش تقریبی حل نمود. در این مدل، جستجو به روش تکرار۲ انجام می گیرد. هنگامی که یک نقطه بهینه یافت شد، مثلا در صورتیکه هدف بهینه‌سازی یک تابع باشد، عمل پایین رفت در جهت شیب تابع دوباره ادامه می‌یابد. ولی با یک نقطه شروع دیگر که به طور تصادفی انتخاب شده است این عمل جندین بار تکرار می‌شود تا نقطه‌ای بدست آید که کمترین مقدار تابع برازندگی را داشته باشد. مدل عمومی برنامه‌ریزی خطی را می توان بشکل زیر در نظر گرفت(رابطه۵).

(رابطه۵)

$$Max\ Z \quad C^T.X$$
$$S.T: \quad AX \quad b\ ;\ X \quad 0$$

C: بردار n بعدی از ضرایب تابع هدف، X: بردار n بعدی از متغیرهای تصمیم‌گیری، b: بردار m بعدی از ضرایب طرف راست که نشان‌دهنده منابع در دسترس

[1] Danzig
[2] Itration

می باشد، A : ماتریس m در n از ضرایب محدودیت‌ها، T: عملگر ترانهاده ماتریس.

در این تحقیق به منظور تهیه بهینه‌سازی خطی، Solverبا کمینه کردن مجموع مربعات خطای حاصل از مقادیر دبی‌های مشاهده‌ای و دبی‌های برآوردی از فرمول تجربی فولر بهینه‌سازی تابع هدف را انجام می دهد.

برنامه‌ریزی با استفاده از الگوریتم تکاملی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک (GA)

روش ژنتیک عبارت است از یک جستجوی چند جانبه موازی، هدایت شده بر اساس نظریه تکامل که با شبیه سازی فرآیندهای بقای اصلح در علم زیست شناسی، اقدام به یافتن متکاملترین پاسخ یک مسئله می‌نماید. در نظام طبیعی موجوداتی که شایستگی بالاتری دارند، امکان بقاء و تولید مثل بیشتری پیدا می‌کنند و پس از چندین نسل نیز به درجه شایستگی بالاتری میرسند. فرآیند طبیعی انتخاب اصلح با ترکیب عملگرهای ژنتیک مانند به گزینی، تلاقی و جهش صورت می-پذیرد. در مدل ریاضی روش ژنتیک، هر کدام از این عملگرها شبیه سازی می‌شوند (Goldberg, 1989).

معیارهای مقایسه روش‌ها

کارایی روش‌های انتخابی با استفاده از یک ایستگاه انتخابی ارزیابی شده و مناسب ترین روش معرفی شد. در این مرحله دبی حداکثر روزانه برای ایستگاهی که به طور تصادفی انتخاب و کنار گذاشته شده بود به روش‌های یاد شده برآورد شده و سپس با بکار گیری معیارهای میانگین قدر مطلق خطاها[1](MAE)، ریشه دوم میانگین مربع خطا [2](RMSE) و ضریب کارایی روش‌ها[3] (NSE) کارایی روش‌های انتخابی بررسی شد. RMSE که به اختصار جذر میانگین مربعات خطا نامیده می‌شود بیانگر میزان اختلاف مقادیر تخمینی با اطلاعات اندازه‌گیری شده می‌باشد هر چه مقدار این پارامتر کمتر باشد نشان دهنده دقت بالای مدل در تخمین مقادیر مورد نظر است و مقادیر تخمینی مطابقت بیشتری بر اطلاعات اندازه‌گیری شده دارند. RMSE برابر با صفر، مترادف با انطباق صد درصدی اطلاعات تخمینی بر اندازه‌گیری شده است. ضریب کارایی (NSE) توسط ناش و ساتکلیف[4] (۱۹۷۰) ارایه شده‌است:

(۱۹-۳)

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n} |Q_E - Q_O|}{n}$$

(۲۰-۳)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (Q_E - Q_O)^2}{n}}$$

(۲۱-۳)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{m} (Q_E - Q_O)^2}{\sum_{i=1}^{m} (Q_E - \overline{Q_O})^2}$$

که در آنها،

n؛ تعداد داده‌ها (تعداد بارهای معلق مشاهده‌ای یا اندازه‌گیری شده) ،

Q_E ؛ مقدار برآوردی بار معلق برای داده iام،

Q_O ؛ مقدار مشاهده‌ای بار معلق برای داده iام،

$\overline{Q_O}$ ؛ میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده بارهای معلق.

[1]- Mean Absolute Error
[2]- Root Mean Squared Error
[3] - Model efficiency
[4] -Nash And Sutcliffe

هر چه ضریب NSE به یک نزدیکتر باشد کارایی مدل بهتر خواهد بود. عدد صفر برای ضریب یاد شده به این معنی است که مدل بدست آمده، برآوردی بهتر از میانگین مشاهدات ندارد.

نتایج و بحث

همانطور که قبلا بیان شد هدف بهینه‌سازی در این تحقیق به دست آوردن ضرایب رابطه فولر جهت کمینه کردن تفاوت پاسخ این روابط با ضرایب به دست آمده از آمار مشاهده‌ای است به عبارت دیگر در این بهینه-سازی سعی بر این خواهد بود تا بهترین ضرایب جهت پیدا کردن نزدیک‌ترین حالت بین جواب‌های مشاهداتی و محاسباتی مشخص شوند. که بدین منظور دو روش بهینه‌سازی خطی و الگوریتم ژنتیک مورد استفاده قرار گرفت.

مقادیر دبی‌های حداکثر روزانه با دوره بازگشت‌های ۵، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ با استفاده از نرم افزار SMADA و انتخاب توزیع آماری مناسب برآورد شده است که نتایج آن در جدول (۲) ارائه گردیده است.

جدول ۲: مقادیر دبی‌های حداکثر روزانه با دوره بازگشت‌های مختلف

ایستگاه	توزیع احتمال	دوره بازگشت				
		۵	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
کریم آباد ارزین	گمبل	۳۳/۳۳	۶۹/۴۵	۸۶/۱۶	۱۰۹/۷۷	۱۳۳/۳۴
دیزج ارومیه	لوگ پیرسون تیپ III	۸۲/۷۲	۱۴۶/۹۷	۱۷۸/۳۸	۲۱۲/۵۲	۲۴۹/۶۵
قاسملو	لوگ پیرسون تیپ III	۲۱/۶۷	۴۴/۰۳	۵۳/۷۴	۶۳/۳۵	۷۲/۷۸
کلهر	پیرسون تیپ III	۱۹/۲۸	۴۳/۲۲	۵۴/۶۴	۶۶/۵۹	۷۹/۰۳
گویجعلی اصلان	لوگ پیرسون تیپ III	۱۵/۸۱	۲۸/۶۹	۳۵	۴۱/۸۴	۴۹/۲۶
یالقوزآغاج	گمبل	۳۵/۹۱	۵۴/۷۵	۶۸/۴۴	۸۳/۰۶	۹۳/۶۴
بند ارومیه	لوگ پیرسون تیپ III	۲۶/۶۱	۶۱/۱۵	۷۳/۰۲	۹۰/۹۷	۱۳۵/۳۷
پی قلعه	پیرسون تیپ III	۳۲/۲۸	۷۱/۶۸	۹۱/۴۱	۱۱۶/۱۴	۱۴۴/۱۱
آباجالوسفلی	لوگ پیرسون تیپ III	۶۱/۸۹	۱۱۷/۰۵	۱۴۷/۵۵	۱۷۷/۲۳	۲۰۶/۲۱

ضرایب (C) و (β) بهینه‌سازی شده فرمول تجربی فولر با روش برنامه ریزی غیر خطی برای تمام ایستگاه‌ها به غیر از ایستگاه بند ارمیه به منظور اعتبار سنجی مدل در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳: مقادیر ضرایب حوضه (C) و ضریب فراوانی طغیان منطقه‌ای(β) ایستگاه‌ها کل منطقه مورد مطالعه

ایستگاه	مساحت (کیلومتر مربع)	ضریب حوزه (C)	ضریب فراوانی طغیان منطقه‌ای (β) در دوره بازگشت مورد نظر				
			۵	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
کریم آباد ارزین	۵۰۶	۰/۴۱	-۰/۶۳	۰/۱۲	۰/۲۶	۰/۴۲	۰/۵۴
دیزج ارومیه	۶۲۸/۹۳۳	۰/۳۳	۰/۶۴	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۵	۱/۴۹
قاسملو	۳۲۱/۵۹۴۳	۰/۰۹	۱/۸۵	۲/۶۲	۲/۷۶	۲/۸۶	۲/۹۲
کلهر	۱۷۹/۱۶۳۹	۰/۱۲	۲/۱۵	۳/۳	۳/۵۹	۳/۸۲	۴/۰۳
گویجعلی اصلان	۴۷۳/۰۲	۰/۳۳	-۰/۹۴	-۰/۲۷	۰/۱۴	-۰/۰۵	۰/۰۳
یالقوزآغاج	۱۹۹۰/۶۱	۰/۱۰	-۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۳۶	۰/۴۸	۰/۵۲
پی قلعه	۲۵۰/۵۸	۰/۳۵	۰/۱۴	۱/۰۳	۱/۲۴	۱/۴۷	۱/۶۹

آباجالوسفلی	۴۹۵/۵۰۹۴	۰/۲۱	۱/۵۸	۲/۱۳	۲/۳۷	۲/۵۲	۲/۶۲
میانگین وزنی کل منطقه مورد مطالعه		۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۷۸	۰/۹۴	۱/۰۸	۱/۱۶

به منظور انجام آنالیز حساسیت مدل GA ترکیب‌های مختلف از هر پارامتر در نظر گرفته شد. در این آنالیز با در نظر گرفتن مقادیر مختلف برای احتمال ترکیب و احتمال جهش بعد از ۱۰ بار اجرای مدل، بهترین مقادیر این پارامترها با توجه به کمترین مقدار تابع هدف بدست آمد. پارامترهای ورودی الگوریتم‌های ژنتیک در جدول (۴) ارائه شده است:

جدول ۴: پارامترهای ورودی الگوریتم‌های ژنتیک

VarMin	VarMax	MaxIt	nPop	pCrossover	pMutation
۰	۱۲	۳۰۰	۲۰	۰/۷	۰/۲

ضرایب (C) و (β) بهینه‌سازی شده فرمول تجربی فولر با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای تمام ایستگاه‌ها به غیر از ایستگاه بند ارومیه در جدول شماره(۵) ارائه شده است.

جدول ۵: ضرایب (C) و (β) بهینه‌سازی شده فرمول تجربی فولر با استفاده از الگوریتم ژنتیک

ایستگاه	مساحت (کیلومتر مربع)	ضریب حوزه (C)	ضریب فراوانی طغیان منطقه‌ای (β) در دوره بازگشت مورد نظر				
			۵	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
کریم آباد ارزین	۵۰۶	۰/۰۷۱	۳/۲۱۳	۴/۱۲۳	۴/۳۵۰	۴/۸۴۵	۵/۲۰۹
دیزج ارومیه	۶۲۸/۹۳۳	۰/۲۶۲	۱/۱۷۵	۱/۶۰۰	۱/۷۲۳	۱/۸۴۰	۱/۹۵۵
قاسملو	۳۲۱/۵۹۴۳	۰/۱۵۵	۰/۵۴۷	۱/۲۹۳	۱/۴۲۹	۱/۵۲۰	۱/۵۸۳
کلهر	۱۷۹/۱۶۳۹	۰/۱۴۲	۱/۶۳۲	۲/۷۱۷	۲/۹۸۲	۳/۱۹۷	۳/۳۷۹
گویجعلی اصلان	۴۷۳/۰۲	۰/۰۲۷	۴/۵۷۳	۴/۷۳۲	۴/۸۷۹	۵/۰۵۳	۵/۲۴۱
یالقوزآغاج	۱۹۹۰/۶۱	۰/۰۶۰	۰/۵۳۸	۰/۷۸۵	۰/۹۵۵	۱/۰۹۱	۱/۱۲۵
پی قلعه	۲۵۰/۵۸	۰/۲۳۸	۰/۹۰۷	۱/۸۸۰	۲/۱۳۵	۲/۴۳۹	۲/۷۳۵
آباجالوسفلی	۴۹۵/۵۰۹۴	۰/۱۶۷	۲/۲۲۷	۲/۷۸۵	۳/۰۴۲	۳/۲۰۵	۳/۳۱۲
میانگین وزنی کل منطقه مورد مطالعه		۰/۱۱	۱/۵۳	۱/۹۹	۲/۱۷	۲/۳۶	۲/۴۸

نتایج روش‌های ارزیابی الگوریتم

در این مرحله کارایی دو روش برنامه ریزی خطی و الگوریتم ژنتیک برای ایستگاه بند و با استفاده از روش-های میانگین قدر مطلق خطاها(MAE)، ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE)و ضریب کارایی روش‌ها (NSE) مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاصل از انواع روش‌ها و به تفکیک ایستگاه‌ها در جدول (۶) ارائه شده است.

جدول ۶: نتایج حاصل از ارزیابی برنامه ریزی خطی و الگوریتم ژنتیک به تفکیک ایستگاه‌های انتخابی

انواع روش‌ها	MAE	RMSE	NSE
برنامه ریزی غیر خطی	۴۲/۱۳	۴۸/۵۶	-۰/۸۴

الگوریتم ژنتیک	۱۴/۳۶	۲۰/۱۴	۰/۶۸

نتایج حاصل از جدول ۶ مبنی بر کاربرد برنامه ریزی خطی و الگوریتم ژنتیک در منطقه مورد مطالعه نشان دهنده کارایی هر یک از روش‌ها با استفاده از انواع معیارهای مقایسه روش‌ها در ایستگاه بند ارومیه است.

در این تحقیق دقت بهینه‌سازی ضرایب در دوره اعتبارسنجی با استفاده از معیارهای نام برده که پرکاربردترین معیار برای ارزیابی نتایج در شبیه‌سازی-های جریان پیوسته است مورد ارزیابی واقع شده است. ضرایب بهینه سازی شده فرمول تجربی فولر در ایستگاه بند ارومیه در روش الگوریتم ژنتیک به مراتب بهتر از روش برنامه‌ریزی غیر خطی است. عموماً اگر معیار نش- ساتکلیف بیشتر از ۰/۷۵ باشد مدل عالی و کامل، و اگر بین ۰/۷۵ تا ۰/۳۶ باشد، رضایت‌بخش و اگر کمتر از ۰/۳۶ باشد غیرقابل قبول فرض می‌شود (ژو و همکاران، ۲۰۰۹ به نقل از نش و ساتکلیف، ۱۹۷۰). بنابراین از لحاظ معیار نش- ساتکلیف ضرایب به دست آمده از الگوریتم ژنتیک رضایت بخش و نتایج برنامه‌ریزی غیر خطی با استفاده ار این معیار غیر قابل قبول است. میانگین قدر مطلق خطاها و ریشه دوم میانگین مربع خطا هر چه کمتر باشد میزان خطای مدل کمتر است که در روش الگوریتم ژنتیک مقدار RMSE نصف مقدار روش برنامه ریزی غیر خطی است و همچنین مقدار MAE درروش الگوریتم ژنتیک یک سوم مقدار روش برنامه ریزی غیر خطی است.

همانطوری که در جدول فوق ملاحظه می‌گردد، به طور کلی روش الگوریتم ژنتیک نسبت به روش برنامه ریزی غیر خطی مقادیر خطای کمتری داشته و مناسب‌تر است و با نتایج حاصل از مطالعات قبلی بویژه فلاح مهدی پور و همکاران (۱۳۸۷)، به این نتیجه رسیدند که الگوریتم PSO برای سیاست بهره‌برداری از مخزن قابلیت بالاتری نسبت به برنامه‌ریزی خطی دارد همچنین تحقیق سیمسون[1] و همکاران در سال (۱۹۹۴)، اجرای کامل برنامه ریزی غیر خطی (NLP) و GA برای یک شبکه لوله نمونه مقایسه نمودند و نتایج آنها نشان داد که GA قادر به یافتن جواب‌های قابل قبول است مطابقت دارد. تفاوت ضرایب به دست آمده با نتایج حاصل از تحقیق سلاجقه و همکاران (۲۰۰۶) برای ضرایب فرمول فولر در دوره بازگشت‌های مورد نظر که این لزوم تعیین ضرایب منطقه ای را قبل از استفاده در مناطق دیگر با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی کارآمد تایید می‌کند.

نتیجه‌گیری

این تحقیق جهت بهینه سازی ضرایب منطقه ای فرمول تجربی فولر که یکی از فرمول های تجربی پرکاربرد در زمینه برآورد دبی سیلاب می باشد با استفاده از مدل برنامه ریزی خطی در محیط لینگو و الگوریتم ژنتیک در محیط برنامه‌نویسی متلب در حوزه های منتخب استان آذربایجان غربی انجام پذیرفت. پس از بهینه سازی ضرایب منطقه‌ای فرمول تجربی فولر با روش‌های برنامه ریزی خطی(LP) و الگوریتم ژنتیک(GA)، ۸ ایستگاه از ۹ ایستگاه انتخابی و انتخاب ایستگاه بند ارومیه به صورت تصادفی برای اعتبار سنجی و استفاده از روش‌های پرکاربرد مقایسه مدل‌ها به این نتیجه رسیدیم که نتایج به دست آمده از الگوریتم ژنتیک با خطای کمتر مناسب تراز روش برنامه‌ریزی خطی ضرایب فرمول تجربی فولر در برآورد دبی اوج ۲۴ ساعته را برآورد کرده است و از آنجایی که

[2]- Simp son

ضرائب منطقه ای بهینه شده فرمول تجربی فولر در برآورد دبی اوج ۲۴ ساعته در دوره بازگشت های مختلف بسیار حائز اهمیت می باشد لذا برای پروژه های حفاظت خاک و آبخیزداری و کنترل سیلاب در حوزه های فاقد آمار این استان قابل استفاده می باشد. در پایان نگارنده پیشنهاد می‌کند که که با توجه به اهمیت پارامتر دبی حداکثر سیلاب در اجرای پروژه های آب و آبخیزداری، در مطالعات آتی می توان با بهینه سازی ضرایب منطقه ای سایر فرمول های تجربی مورد استفاده برای تعیین دبی حداکثر لحظه ای از جمله دیکن، کریگر و غیره با روش‌های بهینه سازی دیگر از جمله الگوریتم جامعه ذرات، جامعه مورچگان و همچنین تهیه نقشه منحنی‌های هم ضریب رابطه‌های فوق تغییرات مکانی ضرایب را در مناطق مورد مطالعه نشان دهند و به منظور اولویت بندی مناطق بحرانی با پتانسیل سیل خیزی بالا مورد استفاده سازمان‌های مرتبط قرار گیرد.

مراجع

فلاح مهدی پور، الهه .خیاط خلقی، مجید، بزرگ حداد، امید . ۱۳۸۷ .کاربرد الگوریتم مجموعه ذرات چند هدفه در بهره برداری چندمنظوره از مخزن، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی عمران.

فهیم، نفیسه. ،هیراد عبقری و عماد فهیم. ۱۳۹۲. ۱ بهینه سازی ضرایب منطقه ای فرمول تجربی فولر با استفاده از الگوریتم جامع ذرات (PSO). نهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری در ایران. دانشگاه یزد.

موسوی، سید فرهاد.، جمشید نژاد عنبرانی، جعفرسید سعید اسلامیان، ناصز زستم افشار.(۱۳۷۸)، تخمین ضرایب رواناب برای تعدادی از حوضه های آبریز دریای مازندران، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد سوم، شماره ۲.

یوسفی مبرهن، ا.، صابر چناری، ک.، زمینی نژاد، ز. ۱۳۹۰. ارزیابی برنامه ریزی خطی در بهینه سازی ضرایب منطقه¬ای فرمول تجربی فولر در محیط اکسل (مطالعه موردی: حوزه‌های آبخیز منتخب استان آذربایجان غربی). هفتمین همایش ملّی علوم و مهندسی آبخیزداری. دانشگاه صنعتی اصفهان.

یوسفی مبرهن، ا.، صابر چناری، ک.، عبقری، ه.، شجاعی، ا. ۱۳۹۱. بهینه سازی ضرایب فرمول تجربی فولر با روش برنامه ریزی غیر خطی برای برآورد دبی‌های حداکثر لحظه‌ای، مجله پژوهش سازندگی، شماره ۹۶، صفحات ۹۶-۸۸.

Fuller,W. 1914, Flood Flows, Transactions of The American Society of Civil Engineering.

Nafiseh. Fahim, Emad. Fahim and Hirad. Abgari, 2013. Optimize the regional coefficients empirical Fuller's formula Using the Particle Swarm algorithm (PSO), The Second International Conference on Agriculture and Natural Resources, December 25-26, 2013, Razi University, Kermanshah, Iran.

Rao, S. S. (1984). *"Optimization Theory and Application"*, Second edition, John Wiley and Sons: 1247p.

Sabramanya, K. 1984, Engineering Hydrology, Mc. Graw Hill.

Salajeghe, A. and Dastorani, J. 2006. Determining of regional coefficients of Fuller's empirical formula to estimate maximum instantaneous discharge in dasht kavir basin, Kalshour, sabzevar, iran. Biaban Jornal, Vol11, No.1-1.

Simpson, A. R., Dandy, G. C. and Murphy, L. J. 1994. Genetic algorithms compared to other techniques for pipe optimization. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE 120 (4): 423-443.

Optimization of Fuller Experimental Formula Regional Coefficients by Linear Programming and Genetic Algorithm in ungauged watersheds with Spatial Data

Ebrahim Yousefi Mabrhan 1, Ibrahim Karimi Sangchini 2, Behrouz Aristotle 3 and Seyed Ali Asghar Hashemi 4

Abstract

One of the methods used for calculating flood peak discharge in non-statistical watersheds is experimental methods. One of the empirical methods used in this study is the Fuller method which has advantages over other empirical methods for different flood periods. In this research, we have compared the linear programming optimization techniques and genetic algorithm in optimizing the fuller experimental formula coefficients in Excel and MATLAB respectively for selected watersheds of the region. For this purpose, the statistics of maximum 24-hour discharge of 9 stations in West Azarbaijan province with a statistical period of 21 years were studied. Comparison of the results showed the superiority of the genetic algorithm method and then linear programming. The results also show that the use of smart search methods improves the performance of conventional methods significantly.

Key words: linear programming, genetic algorithm, fuller experimental formula and Regional coefficients.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی