

کاربرد الگوریتم تلفیقی فازی- ازدحام ذرات برای تعیین حوضه‌های آبخیز همگن بر اساس وقوع سیلاب

ستار چاوشی^{*۱}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲)

چکیده

نخستین گام در مطالعات منطقه‌ای سیلاب یافتن حوضه‌های آبخیز همگن از لحاظ رفتار هیدرولوژیکی است. این تحقیق بر مبنای مفهوم ناحیه اثر بوده و با هدف یافتن گروه‌های همگن حوضه‌های آبخیز در محدوده حاشیه جنوبی دریای خزر انجام گرفته است. روش تحقیق مبتنی بر چارچوبی است که بر مبنای بهینه‌سازی شبکه‌های فازی با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات شکل گرفته است. پس از تعیین متغیرهای اصلی مرتبط با سیلاب با روش آزمون تحلیل مؤلفه‌های اصلی، از آنها به‌عنوان ورودی سیستم فازی استفاده شد. گروه‌بندی حوضه‌ها در فضای فازی این متغیرها و طی یک فرایند تکراری انجام گرفت. تعیین بهینه گروه‌های همگن توسط الگوریتم ازدحام ذرات انجام شد. به‌نحوی که از آماره گشتاور خطی ناهمگنی به‌عنوان معیار ارزیابی صحت و دقت گروه‌های همگن استفاده شد. تعداد ۶۱ ایستگاه هیدرومتری واقع در این منطقه در نظر گرفته شده و مشخصات فیزیکی، اقلیمی و هیدرولوژیک آنها به‌عنوان متغیرهای مرتبط با سیلاب بررسی شده است. آزمون تحلیل مؤلفه‌های اصلی با روش چرخشی قائم و چرخش عامل واریوماکس روی داده‌های حوضه منتهی به چهار عامل اصلی مساحت، ارتفاع متوسط، ضریب گراولوس و ضریب شکل شد که در مجموع ۸۴ درصد واریانس جمعی را پوشش داده و لذا از آنها برای مراحل بعدی همگنی استفاده شده است. عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات در تکرار نهم موجب کسب بهترین نتیجه، یعنی حداقل میانگین و بهینه تابع شد که به ترتیب ۲۶ و ۲۲ است. مشخصات توپولوژی PSO به‌دست آمده در این مطالعه شامل وزن اینرسی، شتاب محلی، شتاب اجتماعی، تعداد نسل و اندازه جمعیت به ترتیب ۰/۷۲۹۸، ۱/۴۶۹۲، ۱/۴۶۹۲، ۱۰ و ۵ است. نتایج حاصل از این تحقیق تعداد ۶۱ ناحیه اثر (متعلق به ۶۱ ایستگاه مورد مطالعه) است. با توجه به موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های واقع در نواحی همگن می‌توان نتیجه گرفت که فاصله جغرافیایی حوضه‌ها الزاماً دلالت بر همگنی یا عدم همگنی آنها ندارد. نتایج این مطالعه بیانگر کارایی روش تحقیق مورد استفاده در تعیین مناطق همگن حوضه‌های آبخیز دریای خزر دارد.

واژه‌های کلیدی: سیل، الگوریتم ازدحام ذرات، منطق فازی، حوضه‌های همگن، دریای خزر

۱. بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و

ترویج کشاورزی، اصفهان

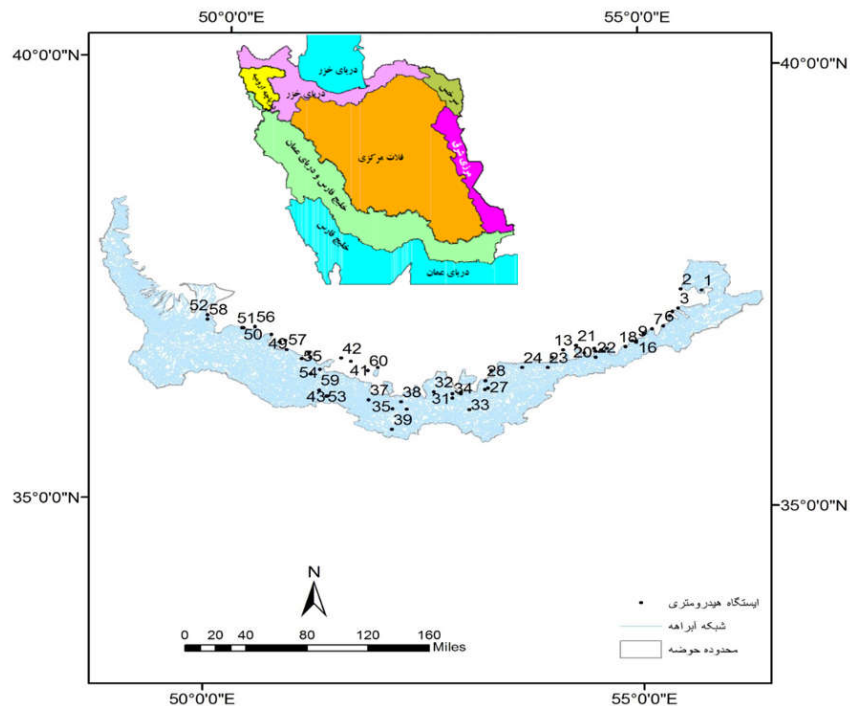
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: chsatar@gmail.com

مقدمه

تحلیل منطقه‌ای سیلاب به‌عنوان یکی از راهکارهای شناخته شده برآورد جریان حداکثر سیل با دوره بازگشت‌های مختلف در حوضه‌های آبخیز است (۱۱، ۱۴، ۳۷ و ۴۴). نخستین گام در تحلیل منطقه‌ای سیلاب یافتن حوضه‌های آبخیز همگن از لحاظ رفتار هیدرولوژیکی است. بدین منظور رهیافت‌های مختلفی ارائه شده است که متکی بر خصوصیات حوضه‌های آبخیز (فیزیکی، اقلیمی، هیدرولوژیکی، پوشش گیاهی، خاک و کاربری اراضی) بوده و از روش‌های آماری بهره می‌برد (۱۳، ۲۴ و ۲۶). در سال‌های اخیر الگوریتم‌های فرا ابتکاری (Meta-Heuristic) برای تعیین بهینه مناطق همگن استفاده شده است. استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری در هیدرولوژی به دهه‌های پیش باز می‌گردد. برخی کاربردهای این الگوریتم‌ها در شاخه‌های مختلف هیدرولوژی عبارت است از فرایند بارش - رواناب (۱۹، ۲۵، ۳۱، ۳۹، ۴۱، ۴۲ و ۴۷)، پیش‌بینی جریان و سیلاب (۱۲، ۱۶، ۱۷، ۲۳، ۲۹، ۳۶، ۴۵ و ۴۷)، آب‌های زیرزمینی (۲۰، ۲۱، ۲۲، ۳۰، ۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۸ و ۴۰)، کیفیت آب (۲۹، ۴۳ و ۴۸). در منطقه مورد مطالعه، مطالعات زیادی در زمینه سیلاب انجام گرفته که عمدتاً از روش‌های کلاسیک استفاده شده است. از جمله می‌توان به مقالات تقفیان و فرازجو (۲)، شعبانلو و همکاران (۴)، فیاض بخش و همکاران (۷)، کاظمی کیا و همکاران (۸) و چاوشی و همکاران (۱۶، ۱۷ و ۱۸) اشاره کرد. همچنین تحقیقات مختلفی پیرامون همگنی حوضه‌های آبخیز در این منطقه انجام گرفته است. به‌عنوان مثال، فرسادی و همکاران (۶) با استفاده از روش‌های Fuzz C-Mean, K-mean و SOM تعداد ۴۷ زیرحوضه خزر را بر اساس طول و عرض جغرافیایی، مساحت، محیط و طول حوضه، ارتفاع متوسط حوضه، طول و شیب آبراهه اصلی، بارندگی متوسط سالانه، شیب متوسط حوضه، و ارتفاع ایستگاه، به پنج منطقه همگن تقسیم کردند. عبدالحی و همکاران (۱۰) از روش‌های Hierarchical Clustering, K-means Clustering, Fuzzy Clustering و Kohonen استفاده کرده و ۱۰ زیرحوضه گرگان را بر اساس مساحت، ارتفاع و شیب متوسط حوضه، ضریب گراولپوس، متوسط بارش سالانه و NDVI، به ۲ منطقه همگن تقسیم کردند. همچنین

می‌توان به تحقیقات میرزا حسینی و همکاران (۹)، شیخ و همکاران (۵)، آهنی و همکاران (۱)، و رستمی کامرود و همکاران (۳) اشاره کرد. در مطالعات فوق تنوع انتخاب حوضه‌های آبخیز، عوامل مورد مطالعه و همچنین روش تحقیق منجر به تعداد متفاوت مناطق همگن شده است.

در این مقاله از الگوریتم PSO برای بهینه‌سازی شبکه پیشرفته فازی (Fuzzy Expert System, FES) استفاده شده است. مهم‌ترین مزیت‌های الگوریتم ازدحام گروه ذرات، سادگی اجرا، تعداد کم پارامتر، قابلیت بهینه‌سازی در فضای کلی، غیرحساس بودن به مقیاس متغیرهای طراحی و هماهنگی راحت با فرایندهای در حال اجرا است (۱۵، ۳۲، ۴۶). هدف از این تحقیق بررسی پتانسیل الگوریتم‌های فوق در تعیین حوضه‌های آبخیز همگن دریای خزر بر اساس رفتار هیدرولوژیک آنهاست. نتایج حاصله برای مدل‌سازی منطقه‌ای سیلاب و برآورد سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در حوضه‌های فاقد آمار منطقه مورد مطالعه به‌کار گرفته می‌شود. تفاوت این تحقیق با تحقیقات گذشته آنست که به‌جای روش‌های رایج و کلاسیک گروه‌بندی یک منطقه به چند ناحیه همگن، از مفهوم ناحیه اثر برای یافتن گروه‌های همگن متناسب با هر ایستگاه استفاده می‌شود. به‌طوری‌که به تعداد ایستگاه‌های مورد مطالعه ناحیه اثر به‌دست می‌آید. برتری این تحقیق با تحقیقات قبلی آن است که با هدف دقت بیشتر در تعیین حوضه‌های همگن از مهم‌ترین ویژگی‌های حوضه در ارتباط با سیلاب در سه قالب موقعیت جغرافیایی (به‌عنوان معیاری از همگنی خاک، پوشش گیاهی و شرایط اکولوژیکی حوضه‌های مورد مطالعه)، خصوصیات فیزیکی حوضه‌های آبخیز (به‌عنوان عوامل مؤثر بر سیلاب) و فصل‌بندی وقوع سیلاب (به‌عنوان شاخصی از رفتار مشابه هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز) استفاده شده است. همچنین نوآوری این تحقیق در به‌کارگیری الگوریتم PSO برای بهینه‌سازی سیستم‌های فازی و استفاده از الگوریتم FES-PSO در تحقیقات هیدرولوژی است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

به ایستگاه هیدرومتری در منطقه برای مطالعه انتخاب شد (جدول ۱). انتخاب ایستگاه‌ها بر اساس معیارهایی همچون طول کافی آمار جریان و عدم وجود بند یا سد در مسیر آبراهه اصلی است. مشخصات ایستگاه‌های مورد نظر و همچنین مشخصات حوضه‌های آنها در جداول مربوطه آورده شده است (۱۶، ۱۷ و ۱۸).

داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق از آمار و اطلاعات هواشناسی و هیدرومتری شرکت تحقیقات منابع آب ایران استفاده شده است که شامل آمار دبی حداکثر جریان سالیانه و دبی پیک، بارش ماهانه و سالیانه در طول دوره آماری موجود و همچنین موقعیت مکانی ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری است. ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری با طول دوره آماری بیش از ۱۰ سال استفاده شده است و مراحل آماده سازی داده‌ها شامل آزمون‌های همگنی (روش Run-Test)، استقلال داده‌ها (آزمون Wald - Wolfowitz)

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه آبخیز دریای خزر انتخاب شده است که سابقه وقوع سالیانه سیلاب داشته و همچنین دارای تعداد قابل توجهی ایستگاه هیدرومتری است. حوضه آبخیز دریای خزر با وسعت تقریبی ۱۷۴۶۱۸ کیلومتر مربع در شمال کشور واقع بوده و از شمال به رودخانه اترک، دریای خزر و رودخانه ارس، از جنوب به رشته کوه البرز، از شرق به استان خراسان و از غرب به مرز مشترک ایران- ترکیه محدود می‌شود (شکل ۱). تغییرات ارتفاعی حوضه بسیار زیاد بوده و از ۲۷- متر از سطح دریاهای آزاد در سطح دریای خزر تا ۵۶۷۱ متر در قله دماوند متغیر است. دمای هوا از حداکثر ۴۵ درجه سانتی‌گراد در پایاب گرگانرود و خلیج میانکاله تا حداقل ۲۰- درجه سانتی‌گراد در ارتفاعات آذربایجان غربی است. متوسط بارندگی از ۱۷۶۰ میلی‌متر در بندر انزلی تا کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر در پایاب اترک و ساحل رودخانه ارس متغیر است. تعداد ۶۱ زیر حوضه منتهی

جدول ۱. دامنه ویژگی‌های حوضه‌های مورد مطالعه

RS	MRL	S	ME	MxE	MnE	P	A	ویژگی
۰/۰۲	۴/۴۵	۱۴/۶۸	۲۵۴/۵	۸۴۱	۰	۱۶	۱۳	حداقل
۰/۳۸	۱۱۰/۵۵	۵۷	۳۱۳۵	۴۷۴۸	۲۱۰۸	۲۷۷/۱۳	۱۸۴۵	حداکثر
P	CC	CR	G	SF	FF	W	LL	ویژگی
۳۹۵	۰/۳۵	۰/۰۶	۰/۳۵	۰/۵۸	۰/۱۷	۲/۳	۵/۵	حداقل
۱۲۸۰/۲۹	۳/۹۸	۸/۱۶	۳/۹۵	۵/۸۹	۱/۰۸	۸۶	۱۱۳/۹۰	حداکثر

A، مساحت حوضه (کیلومتر مربع)، P، محیط (کیلومتر)؛ MnE، ارتفاع حداقل حوضه (متر)؛ MxE، ارتفاع حداکثر حوضه (متر)؛ ME، ارتفاع متوسط حوضه (متر)؛ S، شیب متوسط حوضه (درصد)؛ MRL، طول آبراهه اصلی (کیلومتر)؛ RS، شیب آبراهه اصلی (درصد)؛ LL، طول مستطیل معادل (کیلومتر)؛ W، عرض مستطیل معادل (کیلومتر)؛ FF، عامل فرم حوضه؛ SF، ضریب شکل حوضه؛ G، ضریب گراولوس؛ CR، ضریب گردی حوضه؛ CC، ضریب فشردگی حوضه و P، بارش متوسط سالیانه (میلی‌متر)

الگوریتم ژنتیک (۱۶، ۱۷ و ۱۸) مورد مقایسه قرار گرفته است. مراحل انجام پژوهش به شرح زیر است:

نخست، داده‌های ورودی سیستم شامل ویژگی‌های فیزیکی حوضه، فصل‌بندی سیلاب و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هیدرومتری به همراه متغیرهای زبانی سیستم فازی (Linguistic Variables) تعیین شد. سپس مجموعه فازی شامل توابع عضویت (که نمایشگر درجه عضویت متغیرهاست) تولید شد. قواعد فازی (Rules) بر اساس هدف تحقیق (در اینجا، یافتن حوضه‌های آبخیز همگن) تعریف شده است. فرایند تکراری سیستم فازی در هر مرحله از اجرا، ارزیابی و معیار توقف فرایند دستیابی به سطح مورد نظر از هدف (در اینجا، معیار ناهمگنی ارائه شده توسط هاسکینگ و همکاران، (۲۶) است.

در این تحقیق سه نوع ورودی با نام‌های ویژگی‌های حوضه C_{ij}، فصل‌بندی سیلاب S_{ij} و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هیدرومتری G_{ij} تعریف شده است. ویژگی‌های حوضه‌های آبخیز در رابطه اقلیدسی زیر به کار گرفته شده تا شباهت حوضه‌ها از لحاظ خصوصیات فوق به دست آید (۳۷):

$$C_{ij} = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{\ln C_{ji} - \ln C_{ij}}{\sigma(\ln C_j)} \right)^2 + \left(\frac{\ln C_{ji} - \ln C_{ij}}{\sigma(\ln C_j)} \right)^2 + \left(\frac{\ln C_{ri} - \ln C_{rj}}{\sigma(\ln C_r)} \right)^2} \quad (1)$$

که در آن i و j حوضه‌ها، ۱، ۲، ۳ ویژگی‌های منتخب حوضه‌های آبخیز، ln لگاریتم در پایه نپرین و σ انحراف معیار است. فاصله جغرافیایی بین حوضه‌ها از رابطه زیر به دست می‌آید:

انجام گرفت. از مدل رقومی ارتفاع (DEM) برای استخراج ویژگی‌های حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه استفاده شده است. بدین منظور نخست موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در محیط ARCGIS به صورت فایل نقطه‌ای وارد و زیرحوضه‌های محدود به این نقاط تعیین شد. سپس با استفاده از تکنیک‌های ARCGIS مشخصات فیزیکی آنها به دست آمد (۱۶، ۱۷ و ۱۸).

روش تحقیق

در این تحقیق از مفهوم ناحیه اثر (Region Of Influence, ROI) برای یافتن مناطق همگن استفاده شده است (۱۳). مطابق با مفهوم ناحیه اثر هر ایستگاه دربرگیرنده مجموعه انحصاری از ایستگاه‌های اطراف است، به طوری که از آمار و اطلاعات آنها برای برآورد منطقه‌ای سیلاب استفاده می‌کند. الگوی مورد استفاده، روش تحقیق پیشنهادی شو و برن (۳۷) است که در آن نخست از سیستم‌های فازی برای تعیین اولیه گروه‌های همگن در فضای اقلیدسی خصوصیات حوضه‌ها استفاده شده و در ادامه تعیین قطعی گروه‌های همگن با بهینه‌سازی سیستم‌های فازی توسط الگوریتم‌های فرا ابتکاری (الگوریتم ژنتیک) انجام شده است. با این تفاوت که در این تحقیق به جای الگوریتم ژنتیک از الگوریتم PSO به منظور فرایند بهینه‌سازی استفاده شده است. برای بررسی عملکرد این روش، ناحیه اثر حوضه تنگراه مورد آزمون قرار گرفته و نتایج حاصله از الگوریتم ازدحام ذرات با

جدول ۲. قواعد تعریف شده در سیستم فازی

قانون ۱: اگر $c=S$ ، در نتیجه H	قانون ۴: اگر $g=S$ ، در نتیجه H	قانون ۷: اگر $s=S$ ، در نتیجه H
قانون ۲: اگر $c=M$ ، در نتیجه M	قانون ۵: اگر $g=M$ ، در نتیجه M	قانون ۸: اگر $s=M$ ، در نتیجه M
قانون ۳: اگر $c=D$ ، در نتیجه L	قانون ۶: اگر $g=D$ ، در نتیجه L	قانون ۹: اگر $s=D$ ، در نتیجه L

* در این جدول c, s و g به ترتیب ویژگی‌های حوضه، فصل‌بندی سیلاب و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هیدرومتری؛ S, M و D به ترتیب شباهت زیاد، شباهت کم و متفاوت و H, M و L به ترتیب حوضه‌های آبخیز همگن، نسبتاً همگن و ناهمگن است.

معیار شناخته می‌شود:

$$f(X; V, m) = e^{-\frac{(X-m)^2}{v}} \quad (7)$$

فرایند مذکور با نرمال‌سازی داده‌های ورودی در محدوده صفر و یک انجام می‌گیرد. سپس پارامترهای تابع عضویت به صورت تصادفی تخصیص داده می‌شود. در ادامه قواعد ساده‌ای که دربرگیرنده شباهت هیدرولوژیک حوضه‌های آبخیز براساس متغیرهای مورد نظر همگنی (c, g و s) است، تعریف می‌شود (جدول ۲). به‌عنوان مثال طبق قوانین اول تا سوم جدول مورد نظر در صورتی که حوضه‌ها از لحاظ مشخصات فیزیکی به ترتیب دارای شباهت زیاد، متوسط یا کم باشند این حوضه‌ها به ترتیب همگن، نسبتاً همگن و ناهمگن در نظر گرفته می‌شوند. برای تشکیل سیستم فازی این سری‌های فازی و قواعد کد گذاری می‌شود. این کار با استفاده از جعبه ابزار نرم‌افزار MATLAB ver.11 انجام گرفته است. برای یافتن وزن‌های بهینه سیستم از الگوریتم PSO استفاده شده است.

ارزیابی مناطق همگن

به‌منظور ارزیابی مناطق همگن از آماره‌های گشتاور خطی پیشنهادی هاسکینگ و والیس (۲۶) استفاده شده است. آماره گشتاور خطی در ارتباط با معیارهای موقعیت یعنی $Location(L_1)$ ، مقیاس یا $Scale(t_r)$ ، چولگی یا $Skewness(t_r)$ و کشیدگی یا $Kurtosis(t_r)$ از روابط زیر به دست می‌آید:

$$Location(L_1): Mean = L_1 \quad (8)$$

$$Scale(t_r): L_{CV} = L_r / L_1 \quad (9)$$

$$G_i = \sqrt{(E_i - E_j)^2 + (N_i - N_j)^2} \quad (2)$$

که در آن E و N به ترتیب اشاره به مختصات شرقی و شمالی مرکز ثقل حوضه دارد.

فصل‌بندی سیلاب طبق رابطه زیر با تبدیل تاریخ وقوع به زاویه وتر دایره نمایش داده می‌شود (۳۷):

$$\theta_i = \text{Julian_Date}_i \left(\frac{2\pi}{365} \right) \quad (3)$$

که در آن i مقدار زاویه یک تاریخ وقوع معین است به طوری که اول ژانویه مقدار ۱ و ۳۱ دسامبر عدد ۳۶۵ است. تاریخ وقوع یک سیلاب به صورت آرایه‌ای با طول واحد و برای θ_i نمایش داده می‌شود. مختصات میانگین زاویه وقایع سیلابی هر ایستگاه از روابط زیر به دست می‌آید:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(\theta_i) \quad (4)$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sin(\theta_i) \quad (5)$$

بنابراین شباهت حوضه‌ها از لحاظ زمان وقوع سیلاب با استفاده از فاصله اقلیدسی بین ایستگاه‌ها طبق معادله زیر به دست می‌آید:

$$DE_{ij} = \left[(\bar{X}_i - \bar{X}_j)^2 + (\bar{Y}_i - \bar{Y}_j)^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

که در آن DE فاصله اقلیدسی (عدم شباهت) بین ایستگاه i و j است.

متغیرهای زبانی توسط تابع عضویت گوسن تعریف و نمایش داده شدند. مرحله بعد تعریف سری‌های فازی که توابع عضویت با اشکال مختلف (گوسی، مثلثی، سیگموئید و زنگوله‌ای) است و در محدوده صفر تا یک عددگذاری می‌شود. تابع عضویت گوسی توسط دو پارامتر مرکز ثقل و انحراف

جدول ۳. نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی در منطقه مورد مطالعه

ردیف	متغیر	Eigenvalues	واریانس (%)	واریانس تجمعی (%)
۱	سطح	۴/۸۴	۳۲/۲۴	۳۲/۲۴
۲	ارتفاع متوسط	۳/۰۶	۲۰/۴۳	۵۲/۶۷
۳	ضریب گراولیوس	۲/۴۶	۱۶/۴۲	۶۹/۰۹
۴	ضریب شکل حوضه	۲/۲۳	۱۴/۸۹	۸۳/۹۸

بارش متوسط حوضه مورد مطالعه قرارگرفت (۱۶، ۱۷ و ۱۸).
 آزمون تحلیل مؤلفه‌های اصلی (Principle Component Analysis) با روش چرخشی قائم (Orthogonal Rotation) و چرخش عامل واریوماکس (Variomax Factor Rotation) روی داده‌های حوضه منتهی به چهار عامل اصلی مساحت، ارتفاع متوسط، ضریب گراولیوس و ضریب شکل شد (جدول ۳). این عوامل در مجموع ۸۴ درصد واریانس تجمعی را پوشش داده و لذا از آنها برای مراحل بعدی همگنی استفاده شده است (۱۸). بارش متوسط حوضه نیز به علت ارتباط نزدیک با سیلاب به عنوان عامل ورودی سیستم استفاده شد. به منظور به‌کارگیری سیستم فازی نخست ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم تعریف و در دامنه صفر تا یک نرمالیزه شدند. خروجی سیستم در اینجا عبارتست از همگنی حوضه‌های آبخیز که توسط سه آماره گشتاورخطی پیشنهادی هاسکینگ و والیس (۲۶) سنجش می‌شود. فرایند FES با محاسبه فاصله بین ایستگاه‌ها از لحاظ معیار همگنی آغاز شد. توابع عضویت اولیه توسط تولباکس فازی در متلب به دست آمد. برای هر پارامتر سه تابع عضویت تعریف شد که بیانگر سه سطح از احتمال عضویت است. به عنوان مثال تابع عضویت S در ویژگی حوضه (پارامتر C)، اشاره به احتمال زیاد شباهت دارد (شکل ۲). پارامترهای متغیرهای ورودی و خروجی شامل نوع، دامنه، مرکز و انحراف معیار توابع عضویت انتخاب شد. در این تحقیق تابع عضویت به شکل گوسی که با مرکز و انحراف معیار تعریف می‌شود، انتخاب شد (شکل ۲). این دو پارامتر به‌طور تصادفی تعیین و در حین فرایند تکراری بهبود یافت. الگوریتم PSO برای تعدیل پارامترهای FES استفاده شد. به‌منظور خاتمه فرایند

$$\text{Skewness}(t_r): L_{\text{Skew}} = L_r / L_r \quad (10)$$

$$\text{Kurtosis}(t_r): L_{\text{Kurt}} = L_r / L_r \quad (11)$$

که در آن:

$$L_1 = \beta_0 \quad (12)$$

$$L_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \quad (13)$$

$$L_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \quad (14)$$

$$L_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \quad (15)$$

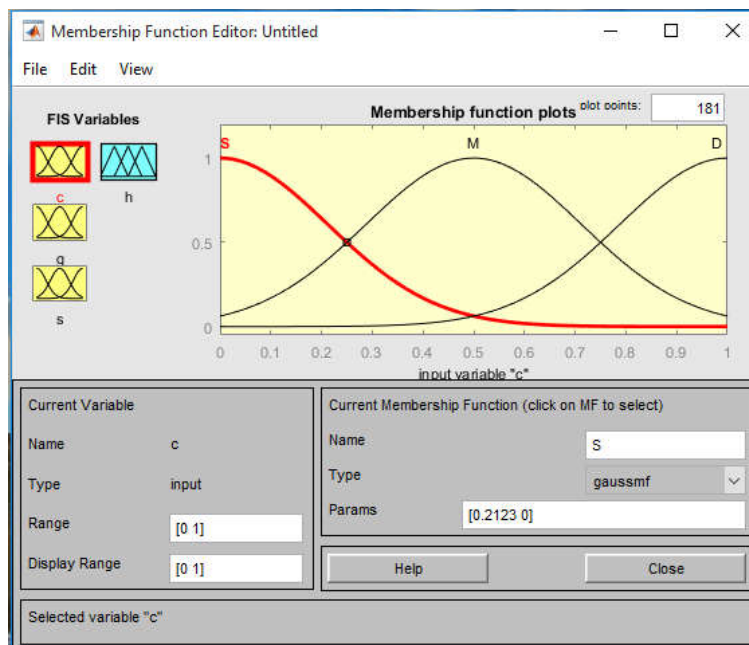
معیارهای پیشنهادی برای بررسی ناهمگنی (Heterogeneity) ایستگاه‌های منتخب در یک منطقه (H_1, H_2, H_3) به ترتیب شامل نسبت‌های گشتاورخطی ضریب تغییرات، ضریب چولگی و ضریب کشیدگی هستند که در عمل از بین آنها H_1 معیار بسیار مفید و کارایی است. در مقابل، تغییرپذیری زیاد مقادیر H_2 و H_3 موجب کاهش قدرت تفکیک پذیری آنها می‌شود.

$$H_1 = \frac{(V_{Lcv} - \mu_v)}{\sigma_v} \quad (16)$$

که در آن V_{Lcv} ، انحراف معیار میانگین وزنی Lcv ، μ_v و σ_v به ترتیب میانگین و انحراف معیار Lcv است. طبق تعریف مقدار $H_1 < 1$ بیانگر همگنی منطقه، $1 < H_1 < 2$ منطقه احتمالاً ناهمگن و $H_1 \geq 2$ منطقه ناهمگن است.

نتایج و بحث

در این مطالعه ۱۶ ویژگی حوضه آبخیز شامل مساحت، محیط، حداکثر و میانگین ارتفاع حوضه، شیب متوسط حوضه، طولانی‌ترین مسیر آبراهه اصلی، شیب متوسط آبراهه اصلی، طول و عرض حوضه، ضریب شکل حوضه، ضریب گراولیوس، ضریب گردی، ضریب فشردگی و زمان تمرکز حوضه به‌همراه



شکل ۲. توابع عضویت اولیه برای پارامترهای تعریف شده

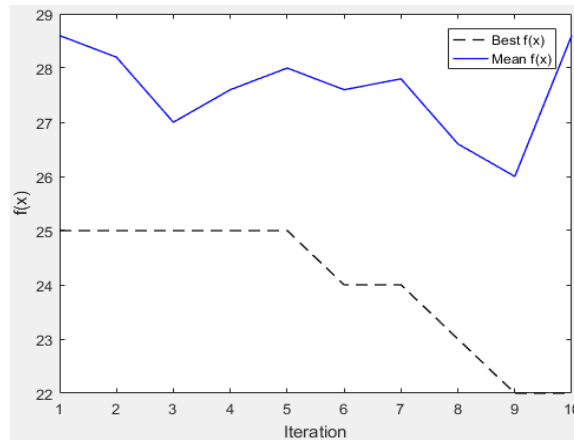
بنابراین تعریف ایستگاه‌های همگن متناسب با هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه به دست آمده است. به عنوان مثال پراکنش جغرافیایی حوضه‌های آبخیز واقع در ناحیه اثر حوضه تنگراه در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که از این شکل پیداست مجاورت جغرافیایی الزاماً دلیل همگنی حوضه‌های آبخیز نیست.

نتیجه‌گیری

استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری در حل مسائل و پدیده‌های پیچیده طبیعی به طور روز افزون گسترش داشته و با توسعه الگوریتم‌های جدید این روند ادامه دارد. با توجه به ماهیت این الگوریتم‌ها، درجه پیچیدگی، تعداد متغیرها، سرعت پردازش و سایر ویژگی‌ها، نتایج متفاوتی در آزمون یک مسئله مشابه به دست می‌آید. انتخاب بهترین الگوریتم بستگی به سطح دقت مورد نظر، سرعت پردازش، تعداد متغیرهای مورد بررسی و سطح پیچیدگی آنها دارد. در این تحقیق از الگوریتم ازدحام ذرات برای بهینه‌سازی توابع فازی حاصله از متغیرهای مرتبط با

تکراری از آماره‌های گشتاور خطی هر ایستگاه یعنی میانگین، ضریب تغییرات، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی خطی استفاده شد. لازم به ذکر است که عملکرد سیستم فازی نهایتاً منجر به بهترین مقادیر پارامترهای PSO یعنی شتاب محلی و شتاب اجتماعی می‌شود. مقادیر میانگین و بهینه تابع هدف در تکرارهای مختلف در شکل ۳ آورده شده است. همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌شود در تکرار ۹، مقدار میانگین و بهینه تابع به حداقل خود می‌رسند (به ترتیب ۲۶ و ۲۲). مشخصات توپولوژی PSO به دست آمده در این مطالعه شامل وزن اینرسی، شتاب محلی، شتاب اجتماعی، تعداد نسل و اندازه جمعیت به ترتیب ۰/۷۲۹۸، ۱/۴۹۶۲، ۱/۴۹۶۲، ۱۰ و ۵ است. همچنین مشخصات توپولوژی ورودی و خروجی‌های سیستم فازی به دست آمده در این مطالعه به ترتیب در جدول ۴ آورده شده است.

مطابق با مفهوم ناحیه اثر هر ایستگاه دربرگیرنده مجموعه انحصاری از ایستگاه‌های اطراف است به طوری که از آمار و اطلاعات آنها برای برآورد منطقه‌ای سیلاب استفاده می‌شود.



شکل ۳. برآوردهای میانگین و بهینه تابع هدف در تکرارهای مختلف

جدول ۴. مشخصات توپولوژی سیستم فازی به دست آمده

متغیر	شباهت	تابع	دامنه	مقدار پارامترها
ویژگی حوضه	S	گوسن	۱-۰	(۰/۳۱۵۵ و ۰/۰)
	M	گوسن	۱-۰	(۰/۲۸۳۰ و ۰/۵)
	D	گوسن	۱-۰	(۰/۳۲۲۵ و ۰/۱)
ورودی	S	گوسن	۱-۰	(۰/۳۸۱۰ و ۰/۰)
	M	گوسن	۱-۰	(۰/۰۸۴۴ و ۰/۵)
	D	گوسن	۱-۰	(۰/۱۲۹۵ و ۰/۱)
فصل بندی سیل	C	گوسن	۱-۰	(۰/۲۰۰۳ و ۰/۰)
	M	گوسن	۱-۰	(۰/۲۸۷۴ و ۰/۵)
	F	گوسن	۱-۰	(۰/۴۱۷۰ و ۰/۱)
خروجی	H	گوسن	۱-۰	(۰/۳۹۱۹ و ۰/۰)
	M	گوسن	۱-۰	(۰/۳۸۴۱ و ۰/۵)
	L	گوسن	۱-۰	(۰/۲۱۵۰ و ۰/۱)

به منظور بررسی عملکرد PSO، نتایج حاصله با نتایج به دست آمده از الگوریتم ژنتیک (۱۶ و ۱۷) مقایسه شد (جدول ۵).

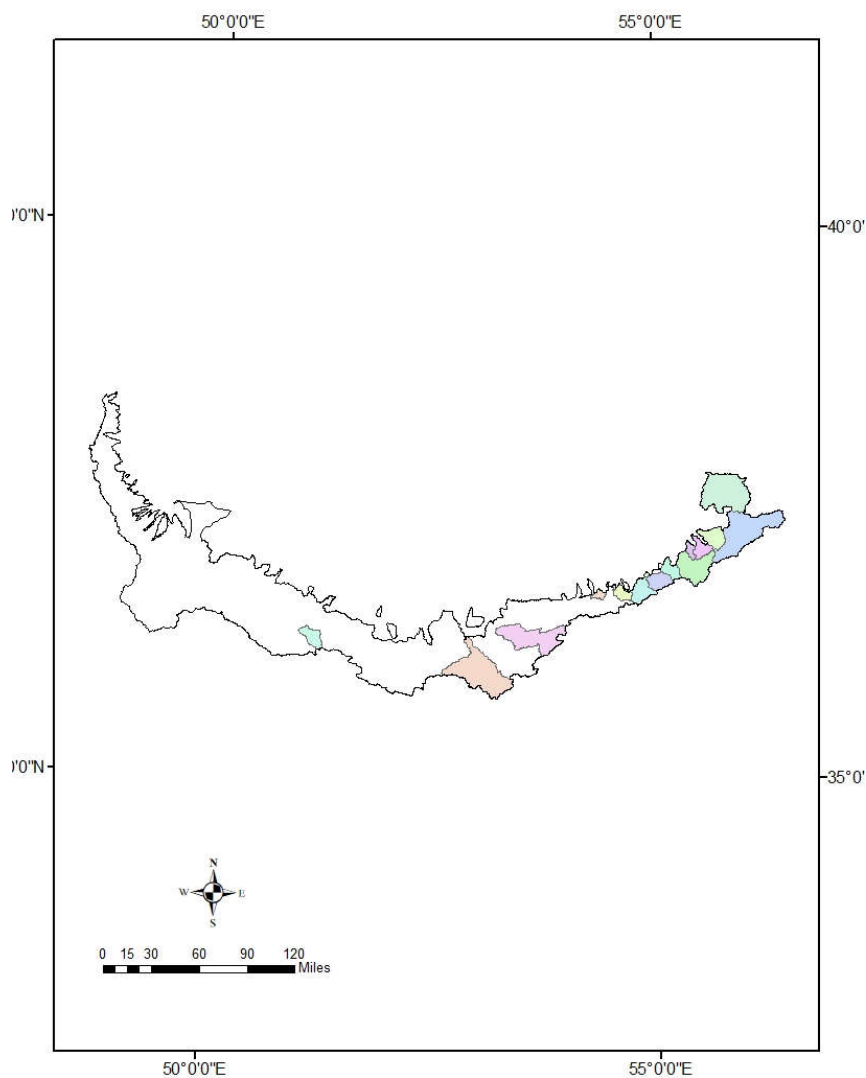
جدول ۵. مقایسه ناحیه اثر حوضه تنگراه با استفاده از الگوریتم‌های GA و PSO

ناحیه اثر	الگوریتم
۱۲۰۰۱-۱۲۰۰۵-۱۲۰۰۷-۱۲۰۱۳-۱۲۰۱۵-۱۲۰۱۷-۱۲۰۲۱-۱۲۰۲۱-۱۲۰۴۳-۱۲۰۴۵-۱۲۰۷۱-۱۲۰۷۳-۱۲۰۸۳	GA
۱۲۰۸۵-۱۳۰۲۷-۱۴۰۰۵-۱۶۰۷۹-۱۶۲۰۹	
۱۲۰۰۱-۱۲۰۰۵-۱۲۰۰۷-۱۲۰۱۳-۱۲۰۱۵-۱۲۰۱۷-۱۲۰۲۱-۱۲۰۲۱-۱۲۰۴۵-۱۲۰۶۲-۱۲۰۷۱-۱۲۰۷۳-۱۲۰۸۳	PSO
۱۲۰۸۵-۱۳۰۲۳-۱۴۰۰۵-۱۶۲۰۹	

ناحیه اثر حوضه تنگراه (ایستگاه ۱۲۰۰۱) طبق الگوریتم ژنتیک شامل ۱۷ حوضه و طبق الگوریتم PSO شامل ۱۶ حوضه است. مقایسه حوضه‌های موجود در هر دو ناحیه نشان‌دهنده ۸۲ درصد شباهت بین این دو ناحیه اثر است. مقایسه عملکرد این دو الگوریتم در این دو ناحیه اثر طبق شاخص‌های ناهمگنی پیشنهادی هاسکینگ و والیس (۲۶) بیانگر کارایی بهتر عملکرد الگوریتم ژنتیک نسبت به PSO است (جدول ۶).

جدول ۶. مقایسه عملکرد الگوریتم‌های GA و PSO در تعیین ناحیه اثر حوضه تنگراه

الگوریتم	H_1	H_2	H_3
GA	۰/۴۶۳	۰/۲۲۰	۰/۱۴۵
PSO	۱/۱۴۸	۱/۰۱۵	۲/۷۵۶



شکل ۴. موقعیت جغرافیایی ناحیه اثر حوضه تنگراه در منطقه مورد مطالعه

استفاده شد که در آن هر حوضه دارای احتمال عضویت در هر یک از گروه‌ها را دارد. در این راستا به منظور یافتن حوضه‌هایی که شباهت رفتار هیدرولوژیک قابل قبولی داشته باشد، معیاری از ناهمگنی ایستگاه‌ها مبتنی بر آماره‌های ناهمگنی گشتاور

سیلاب و با هدف تعیین حوضه‌های همگن استفاده شده است. برخلاف روش‌های کلاسیک گروه‌بندی (Hard Clustering) که در آن هر داده دقیقاً به یک گروه تعلق می‌گیرد، در این تحقیق از مفهوم گروه‌بندی مبتنی بر منطق فازی (Soft Clustering)

نشان‌دهنده کارایی بهتر الگوریتم ژنتیک نسبت به الگوریتم ازدحام ذرات برای تعیین ناحیه اثر حوضه‌های آبخیز است. با توجه به شباهت مراحل پردازش و عوامل ورودی، اختلاف موجود بین نتایج این دو روش ناشی از ماهیت دو الگوریتم فوق است. درحالی‌که الگوریتم ازدحام ذرات با انباشت و به‌روزرسانی اطلاعات به نقطه بهینه تقریب پیدا می‌کند اما نبود یک عامل هدایت‌کننده مسیر دستیابی به نقطه بهینه، در تکرارهای اولیه باعث کندی زمان تقارب یافته‌ها می‌شود. از طرف دیگر الگوریتم ژنتیک دارای قابلیت جستجوی سریع در فضای یافته‌های موجود را دارد اما عدم کاربرد بهینه از بازخورد نتایج هر مرحله از پردازش باعث تکرار مراحل بیهوده و نتایج غیرمفید می‌شود. با توجه به توسعه روزافزون الگوریتم‌های بهینه‌سازی پیشنهاد می‌شود تا در تحقیقات آینده از آنها به‌عنوان جایگزین الگوریتم PSO برای بهینه‌سازی سیستم‌های فازی استفاده شود و نتایج حاصله با الگوریتم FES-PSO مقایسه شود. با توجه به نقش مؤثر عوامل زمینی نظیر کاربری اراضی، گروه‌های هیدرولوژیک خاک و ضریب رواناب سطحی و همچنین سایر عوامل اقلیمی مرتبط با سیلاب نظیر دما و تبخیر پیشنهاد می‌شود تا در مطالعات آینده از این عوامل نیز استفاده شود.

خطی به‌کار گرفته شد که به‌موجب آن دامنه ناحیه اثر هر ایستگاه به‌دست آمد. با توجه با اینکه هیچ‌گونه روش و همچنین پارامترهای منحصر بفردی برای تعیین حوضه‌های همگن وجود ندارد، کارشناسان مختلف از شیوه‌های گوناگون استفاده کرده و پارامترهای مختلفی را به‌کار برده‌اند تا به نتایج بهتری برسند. این تحقیق با استفاده از مهم‌ترین ویژگی‌های حوضه در سه قالب موقعیت جغرافیایی (به‌عنوان معیاری از همگنی خاک، پوشش گیاهی و شرایط اکولوژیکی حوضه‌های مورد مطالعه)، خصوصیات فیزیکی حوضه‌های آبخیز (به‌عنوان عوامل مؤثر بر سیلاب) و فصل‌بندی وقوع سیلاب (به‌عنوان شاخصی از رفتار مشابه هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز) انجام شده است و لذا مناطق همگن حاصله در برگزیده حداکثر شباهت هیدرولوژیکی است. از بین عوامل فیزیکی حوضه، مساحت، ارتفاع متوسط حوضه، ضریب شکل و ضریب گراولوس به‌همراه بارندگی متوسط حوضه به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مرتبط با سیلاب است که با مطالعات قبلی در منطقه هماهنگی دارد (۵، ۶، ۸، ۹ و ۱۰). پراکنش جغرافیایی ناحیه اثر ایستگاه‌ها (ایستگاه‌های همگن با ایستگاه هدف) نشان می‌دهد که مجاورت جغرافیایی الزاماً دلالت بر همگنی حوضه‌ها ندارد. مقایسه نتایج این تحقیق با تحقیق قبلی در منطقه (۱۶ و ۱۷)

منابع مورد استفاده

- آهنی، ع.، ص. امامقلی‌زاده، س. موسوی ندوشنی، و خ. اژدری. ۱۳۹۴. تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب با استفاده از تحلیل خوشه‌های ترکیبی و گشتاورهای خطی. *پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز* ۶ (۱): ۲۰-۱۱.
- ثقفیان، ب. و ح. فرازجو. ۱۳۸۶. تعیین مناطق مولد سیل و اولویت‌بندی سیلخیزی واحدهای هیدرولوژیک حوضه سد گلستان. *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران* ۱۱(۱): ۱-۱۱.
- رستمی کامرود، م.، ز. شامحمدی حیدری، پ. حقیقتجو، و ع. مقدم‌نیا. ۱۳۹۰. تحلیل منطقه‌ای فراوانی سیلاب با استفاده از روش گشتاورهای خطی برای حوضه‌های آبخیز استان گیلان. *مجله مهندسی منابع آب* ۴: ۳۹-۵۰.
- شعبانلو، س.، ح. صدقی، ب. ثقفیان و ح. موسوی جهرمی. ۱۳۸۷. پهنه بندی سیلاب در شبکه رودخانه‌های استان گلستان با استفاده از GIS. *مجله پژوهش آب ایران* ۲ (۳): ۲۲-۱۱.
- شیخ، ز.، ع. دهواری و ف. فرسادنیا. ۱۳۹۳. مقایسه روش‌های کریجینگ متعارف و گشتاورهای خطی احتمال در تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب در استان مازندران. *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران* ۸ (۲۵): ۳۸-۲۵.

۶. فرسادنیا، ف.، پ. حقیقت‌جو، ز. شاه محمدی حیدری، و ع. مقدم نیا. ۱۳۹۳. تحلیل منطقه‌ای سیلاب در حوضه‌های آبخیزاستان مازندران با استفاده از تحلیل خوشه‌ای فازی. *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران* ۸ (۲۴): ۶۵-۶۱.
۷. فیاض بخش، ه.، م. کاویانپور، م. هدایتی‌زاده. ۱۳۹۴. بررسی مقایسه‌ای کاربرد شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی در مدل تحلیل منطقه‌ای سیلاب. دهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.
۸. کاظمی کیا، س.، ط. بشارتی، م. ذوالفقاری و م. قنبرپور. ۱۳۹۵. بررسی مقایسه‌ای سری مقادیر حداکثر جزئی در تحلیل منطقه‌ای سیلاب (مطالعه موردی در حوضه‌های آبخیز طالار و بابلرود در استان مازندران). *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران* ۱۰ (۳۴): ۱۱۳-۱۱۸.
۹. میرزاحسینی، م.، م. محسنی ساروی و غ. زهتابیان. ۱۳۸۹. ارزیابی روش هیبرید جهت تحلیل منطقه‌ای جریان کمینه در استان مازندران. *فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب* ۱(۱): ۹-۱.
10. Abdolhay, A. 2008. Comparison of hydrological homogenization methods for development of flood regional models. MSc. Thesis, Engineering Faculty, Universiti Putra Malaysia.
11. Beable, M. E. and A. I. McKerchar. 1982. Regional flood estimation in New Zealand. Water and Soil Technical Publication 20. Ministry of Works and Development, Wellington, New Zealand.
12. Bonafe, A. and G. Galeati. 1994. Neural networks for daily mean flow forecasting. PP. 131-138. In: W. R. Blain and K. L. Katsifarakis (Eds.), Hydraulic Engineering Software Computational Mechanics Publications, Southampton, U.K.
13. Burn, D. H. 1990. An appraisal of the "region of influence" approach to flood frequency analysis, *Hydrological Sciences Journal* (35): 149-165.
14. Burn, D. H. 1997. Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures. *Journal of Hydrology* 202: 212-230.
15. Cecconi, F. and M. Campenni. 2010. PSO (Particle Swarm Optimization): One Method, Many Possible Applications. In: Sarker R.A., Ray T. (Eds) Agent-Based Evolutionary Search. Adaptation, Learning, and Optimization, Springer, Berlin, Heidelberg
16. Chavoshi, S., W. N. A. Sulaiman, B. Saghafian, M. D. Sulaiman and L. A. Manaf. 2013a. Flood Prediction in Southern Strip of Caspian Sea Watershed. *Journal of Water Research* 40(6): 593-605.
17. Chavoshi, S., W. N. A. Sulaiman, B. Saghafian, M. D. Sulaiman and L. A. Manaf. 2013b. Regionalization by Fuzzy Expert System Based Approach Optimized by Genetic Algorithm, *Journal of Hydrology* 486: 271-280.
18. Chavoshi, S., W. N. A. Sulaiman, B. Saghafian, M. D. Sulaiman and L. A. Manaf. 2012. Soft and hard clustering methods for delineation of hydrological homogeneous regions in the southern strip of the Caspian Sea Watershed. *Journal of Flood Risk Management* 5(4): 282-294.
19. Chen, J. and B. J. Adams. 2006. Integration of artificial neural networks with conceptual models in rainfall-runoff modeling. *Journal of Hydrology* 318(1-4): 232-249.
20. Coppola, E. and F. Szidarovszky. 2003. Artificial neural networks approach for predicting transient water levels in a multilayered groundwater system under variable state, pumping, and climate conditions. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE* 8(6): 348-360.
21. Coulibaly, P. and F. Anctil. 2001. Artificial neural network modeling of water table depth fluctuations. *Journal of Water Resources Research* 37(4): 885-896.
22. Daliakopoulos, I. N. and P. Coulibaly. 2005. Groundwater level forecasting using artificial neural networks. *Journal of Hydrology* 309: 229-240.
23. Fernando, D. A. K. and A. W. Jayawardena. 1998. Runoff forecasting using RBF networks with OLS algorithm. *Journal of Hydrology Engineering* 3(3): 203-209.
24. GREHYS. 1996. Presentation and review of some methods for regional flood frequency analysis. *Journal of Hydrology* 186: 63-84.
25. Half, A. H. and H. M. Half. 1993. Predicting runoff from rainfall using neural networks. In: Proceeding of Engineering Hydrology Symposium, San Francisco, California, United States.
26. Hoskings, J. R. M. and J. R. Wallis. 1993. Some statistics useful in regional frequency analysis. *Water Resources Research* 271-281.
27. Lazinica, A. 2009. Particle Swarm Optimization. In-Tech Kirchengasse 43/3, A-1070 Vienna, Austria.
28. Maier, H. R. and G. C. Dandy. 2000. Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: A review of modeling issues and applications. *Environmental Modelling & Software* 15(1): 101-124.

29. Maier, H. R. and G. C. Dandy. 1996. The use of artificial neural networks for the prediction of water quality parameters. *Water Resources Research* 32: 1013-1022.
30. Manisha, P. J. and A. K. Rastogi. 2008. Critical review of applications of artificial neural networks in groundwater hydrology. In: Proceeding of the 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG), Goa, India. PP. 2463-2474.
31. Minns, A. W. and M. J. Hall. 1996. Artificial neural networks as rainfall-runoff models. *Hydrological Sciences Journal* 41(3): 399-417.
32. Nobile, M., P. Cazzaniga, D. Besozzi, R. Colombo, G. Mauri and G. Pasi. 2017. Fuzzy self-tuning pso: a settings-free algorithm for global optimization. *Swarm and Evolutionary Computation* 39: 70-85.
33. Ranjithan, S. and J. W. Eheart. 1993. Neural network screening for groundwater reclamation under uncertainty. *Water Resources Research* 29(3): 563-574.
34. Raman, H. and V. Chandramouli. 1996. Deriving a general operating policy for reservoirs using neural networks. *Journal of Water Resources Planning and Management* 122(5): 342-347.
35. Rogers, L. L. 1992. Optimal Groundwater Remediation Using Artificial Neural Network and the Genetic Algorithm. PhD Thesis, Stanford University, Stanford, California.
36. Shin, Y., J. Heo, Ch. Jeong, and T. Lee. 2014. Meta-heuristic maximum likelihood parameter estimation of the mixture normal distribution for hydro-meteorological variables. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 28: 347-358.
37. Shu, C. and D. H. Burn. 2004. Homogeneous pooling group delineation for flood frequency analysis using a fuzzy expert system with genetic enhancement. *Journal of Hydrology* 291(1-2): 132-149.
38. Singh, R. and B. Datta. 2004. Groundwater pollution source identification and simultaneous parameter estimation using pattern matching by artificial neural network. *Journal of Environmental Forensics, Taylor and Francis* 5(3): 143-153.
39. Smith, J. and R. M. Eli. 1995. Neural network models of rainfall runoff process. *Journal of Water Resources Planning and Management* 121(6): 499-508.
40. Tabach, E. E. and L. Lancelot. 2007. Use of artificial neural network simulation meta-modelling to assess groundwater contamination in a road project. *Mathematical and Computer Modelling* 45: 766-776.
41. Tayfur, G. and V. P. Singh. 2006. ANN and fuzzy logic models for simulating event-based rainfall-runoff. *Journal of Hydrology Engineering* 132: 1321-1330.
42. Tokar, A. S. and M. Marcus. 2000. Precipitation-runoff modeling using artificial neural networks and conceptual models. *Journal of Hydrology Engineering* 5: 156-161.
43. Wen, C. C. and C. S. Lee. 1998. A neural network approach to multi objective optimization for water quality management in a river basin. *Water Resources Research* 34(3): 427-436.
44. Wiltshire, S. E. 1986. Regional flood frequency analysis II: Multivariate classification of drainage basins in Britain. *Hydrological Science Journal* 31: 335-346.
45. Wright, N. G. and M. T. Dastorani. 2002. A combination of artificial neural networks and hydrodynamic models for river flow prediction. In: Proceeding of International Conference on Hydroinformatics, Cardiff, UK.
46. Yang, X. S., G. Bekdaş and S. M. Nigdeli. 2016. Review and Applications of Metaheuristic Algorithms in Civil Engineering. In: Yang, X. S., Bekdaş, G., Nigdeli, S. (Eds.). *Metaheuristics and Optimization in Civil Engineering. Modelling and Optimization in Science and Technologies*, Vol 7. Springer International Publishing Switzerland.
47. Yoon, S., Ch. Jeong and T. T. Lee. 2013. Application of Harmony Search to Design Storm Estimation from Probability Distribution Models. *Journal of Applied Mathematics* 2013: 1-11.
48. Zhang, Y. and J. Pulliainen. 2002. Application of an empirical neural network to surface water quality estimation in the Gulf of Finland using combined optical data and microwave data. *Remote Sensing of Environment* 81: 327-336.

A Hybrid Fuzzy- PSO Algorithm for Catchment Regionalization in Relation to Flood Occurrence

S. Chavoshi^{1*}

(Received: April 21-2018 ; Accepted: June 23-2018)

Abstract

Regional flood frequency studies are initialized by the delineation of the homogeneous catchments. This study was based on "Region of Influence" concept, aiming to find the similar catchments in the south of Caspian Sea. The methodology utilized the Particle Swarm Optimization Algorithm, PSO, to optimize the fuzzy system over a dataset of catchment properties. The main catchment variables in relation to flood were determined by the principle component analysis method and employed as the inputs in the fuzzy system. Catchments grouping was performed over these fuzzy input variables by the iterative process. The optimum similar groups were obtained by PSO, and the heterogeneous L-moment index was used as the termination criterion for the optimization process. A total of 61 hydrometric stations located in the study area were selected and their relevant catchments' physical, climatic and hydrologic properties in relation to flood were studied. Principle Component Analysis by Variomax Rotation Factor over the catchments datasets tended to four out of 16 physical variables, including area, mean elevation, Gravelious Factor and Form Factor, as the main parameters in terms of homogeneity with 84 percent of accumulative variance. These variables, as well as mean annual rainfall, were used as the input data to define the fuzzy system. PSO algorithm was then employed to optimize the developed fuzzy system. The developed algorithm tended to yield the best result in the 9th iteration with 26 and 22 for the minimum average and the optimum values of cost function, respectively. The topology of the resulting algorithm included inertia weight, local and acceleration rates, the number of generations and population size, with the values of 0.7298, 1.4962, 1.4962, 10 and 5, respectively. This study tended to a total of 61 regions of influence, proportional to the relevant 61 sites. According to the geographical location of the catchments in the region, it could be concluded that the geographical proximity doesn't necessarily involve homogeneity. The obtained results indicated the efficient potential of PSO-FES in the delineation of the homogenous catchments in the study area.

Keywords: Particle Swarm Optimization Algorithm, Fuzzy Expert System, Flood Frequency Analysis, Catchment Similarity, Caspian Sea

1. Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: chsatar@gmail.com