نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۲، شماره ۴، ۱۳۹۹، صفحات ۱۰۰۹-۱۰۲۳

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 12, Issue 4, 2021, Pages 1009-1023
DOI: 10.22092/ijwmse.2020.110960.1313

ارزیابی و تحلیل آماری عوامل مورد استفاده در تحلیل منطقه‌ای سیلاب و روش‌های همگنی حوزه‌های آبخیز در ایران

علیرضا اسلامی*[۱] و رحیم کاظمی[۲]

[۱ و ۲] استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۰۷

چکیده

تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب ابزار توانمندی در برآورد و تحلیل جریان سیل درحوزه‌های آبخیز می‌باشد. در این پژوهش، روش‌های مختلف تحلیل منطقه‌ای سیلاب و همگن‌بندی هیدرولوژیکی حوضه‌ها که در کشور انجام شده، بررسی شده است. در میان روش‌های متعدد تعیین همگنی زیرحوضه‌ها، روش تحلیل خوشه‌ای به‌دلیل قابلیت استفاده از تحلیل عاملی برای انتخاب مهمترین عوامل موثر، سادگی امکان لحاظ کردن عوامل متنوع، استقلال پارامترهای موثر، دقت در تفکیک گروه‌های همگن و مزیت استفاده از توابع تشخیص، مناسب‌ترین روش است. روش رگرسیون چند متغیره به‌ویژه آنجا که همگنی حوزه‌های آبخیز با دقت لازم تعیین شده باشند، کارایی مناسبی در تحلیل منطقه‌ای سیلاب از خود نشان داده است. روش گشتاورهای خطی به‌علت دارا بودن دو ویژگی وجود و یکتایی، از کارایی خوبی در تخمین پارامترها و انتخاب توزیع‌های مناسب آماری برخوردار می‌باشد. به‌نحوی‌که در تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب به‌ویژه در شرایط مواجه با کمبود آماری یا طول دوره کم و داده‌های دارای اریب، روش گشتاور خطی نسبت به سایر روش‌ها عملکرد بهتری دارد. نتایج بررسی و تحلیل نتایج مربوط به روش مدل‌های سامانه‌های هوشمند نظیر شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNS) و منطق فازی، نشان‌دهنده قابلیت بالا در ایجاد برقراری روابط غیرخطی بین متغیرهای ورودی چندگانه می‌باشد. نتایج بررسی عوامل مختلف مورد استفاده در روش‌های تحلیل منطقه‌ای نشان داد که عوامل فیزیوگرافی بیشترین درصد (۷۲/۱۱) و بعد از آن عوامل اقلیمی با ۱۷/۶۹ و پارامترهای پوشش زمینی با ۷/۴۸ درصد مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همچنین، کمینه مشارکت مربوط به عامل هیدرولوژیکی با ۲/۷۲ درصد است. از میان پارامترهای فیزیوگرافی، عامل مساحت حوضه با ۳۰/۱۹ درصد مشارکت، بیشترین تأثیرگذاری را در تحلیل منطقه‌ای سیلاب داشته است. از میان عوامل اقلیمی، بیشترین درصد کاربرد مربوط به عامل متوسط بارندگی سالیانه با ۷۳/۰۸ درصد به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل خوشه‌ای، رگرسیون چند متغیره، شبکه عصبی، گشتاورخطی، هیبرید

مقدمه

سیل از جنبه‌های عمرانی، زیست‌محیطی و اقتصادی-اجتماعی دارای اثر و اهمیت است و لذا، ضرورت شناخت مولفه‌های مختلف این پدیده سال‌هاست مورد توجه پژوهشگران است. یکی از روش‌های مهم مورد استفاده از گذشته تا امروز تحلیل منطقه‌ای سیلاب رودخانه‌ها می‌باشد. تحلیل فراوانی سیلاب، اطلاعات مناسبی برای تحلیل‌های مختلف

* مسئول مکاتبات: eslamiar72@gmail.com

نظیر تعیین معیارهای ریسک و اطمینان‌پذیری در طراحی ساختمان‌های آبی، ارزیابی اقتصادی پروژه‌های حفاظت در مقابل طغیان رودخانه‌ها، برنامه‌ریزی‌های مدیریت کاربری اراضی و تخمین حق بیمه خسارت سیل در اختیار می‌گذارد. هدف اولیه تحلیل فراوانی، ارتباط دادن بزرگی حوادث حدی، نظیر دبی اوج سیلاب به فراوانی وقوع آن‌ها با استفاده از توزیع‌های آماری است (Mahdavi، ۲۰۰۵). برای بسط زمانی سری‌ها از روش‌های مختلفی تحت عنوان تحلیل منطقه‌ای استفاده می‌شود. در این میان به روش‌های مختلفی از جمله شاخص سیلاب (ایستگاه-سال)، آزمون دالریمپل، رگرسیون یک متغیره و چند متغیره، هیبرید، پارامترهای گشتاور خطی و نیز استفاده از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توان اشاره نمود. این روش‌ها در واقع ابزار توان‌مندی در تحلیل مقادیر سیلاب از قالب ایستگاهی برگرفته از اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای (خروجی حوزه‌های آبخیز بالادست) به‌طور منطقه‌ای هستند که ناحیه مشتمل بر همه ایستگاه‌های دخیل در روابط استخراجی را شامل می‌شوند.

در کنار این‌ها، کاربرد مهم این روش‌ها به برآورد مقادیر سیلاب در مناطق فاقد آماری برمی‌گردد که آگاهی از آن‌ها در انجام برخی از عملیات آبخیزداری، احداث سازه‌های کنترلی و یا انحرافی از جنبه مهندسی رودخانه و مدیریت منابع آب، مورد نیاز است. در حالت کلی، مناطقی که از نظر آب و هوایی به‌ویژه فصل وقوع و شدت بارندگی، از نظر ویژگی‌های فیزیکی حوضه، خاک و پوشش گیاهی مشابه باشند، شرایط مشابه‌ای را برای وقوع سیلاب ایجاد می‌کنند. به اعتقاد Burn و Goel (۲۰۰۰) یک منطقه همگن به جمعی از زیرحوضه‌ها اطلاق می‌شود که نه ضرورتاً از نظر جغرافیایی، بلکه از نظر پاسخ هیدرولوژیکی مشابه باشند. از نظر آماری نیز همگنی مکانی بدین معنی است که طبیعت هر رویداد خاص هیدرولوژیکی و هواشناسی در منطقه مورد نظر به‌گونه‌ای است که از نظر آماری تشابه آن‌ها قابل قبول و تقریباً دارای عکس‌العمل یکسانی باشند (Telvari وEslami، ۲۰۰۲). تعیین و طبقه‌بندی حوزه‌های آبخیز همگن نیز به روش‌های مختلفی انجام می‌پذیرد. به‌گونه‌ای که پژوهش‌های گذشته نشان داده است، نوع عوامل انتخابی و نحوه تعیین گروه‌های همگن هیدرولوژیکی در بالا بردن دقت برآورد و کارایی روابط منطقه‌ای سیلاب نیز تاثیرگذارند.

سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS[1]) در پیاده‌سازی روابط منطقه‌ای سیلاب و تهیه پروفیل دبی سیل (منحنی تغییرات دبی به ازای مسافت) در شبکه رودخانه و ارائه نتایج در قالب نقشه‌های سیل دارای کاربرد و اهمیت است. تغییرات مکانی پارامترهای هیدروژئومورفیک (مانند جریان تجمعی) و برخی دیگر از عوامل تحلیل منطقه‌ای، نظیر مساحت، بارش و پوشش گیاهی تاثیر تعیین کننده‌ای در دبی اوج سیلاب دارند که به کمک قابلیت‌های پیشرفته GIS توزیع مکانی این متغیرها در سطح آبراهه‌ها قابل بررسی و تعمیم است. در این راستا، Saghafiyan و همکاران (۲۰۰۶) استخراج پروفیل طولی تغییرات دبی سیل را برای دوره بازگشت‌های متفاوت برای بخشی از حوضه‌های شمالی کشور با در نظر گرفتن عوامل موثر نظیر مساحت حوضه، طول آبراهه اصلی و بارش متوسط حوضه، انجام داده‌اند.

تعیین مناطق همگن هیدرولوژیک به روش گشتاور خطی[2] به‌وسیله Lilienthal و همکاران (۲۰۱۶) مورد پژوهش قرار گرفت. در نهایت، برای تعیین دقت روش کاربردی به‌عنوان نمونه در پنج ایستگاه منطقه ساکسونی کشور آلمان، بیشینه سیلاب در تابستان تعیین شد. Komi و Barnabas (۲۰۱۶) به بررسی تعیین مناطق همگن در حوضه رودخانه‌های ولتا بر اساس روش گشتاور خطی پرداختند. در نهایت، با استفاده از مدل رگرسیون و استفاده از پارامترهای میانگین سیلاب سالیانه، مساحت زهکشی، متوسط شیب حوضه و متوسط بارش سالیانه، سیلاب در حوضه‌های فاقد آمار تخمین زده شد. Ahani و Mosavi-Nodoshani (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای به‌منظور منطقه‌بندی حوزه آبخیز سفیدرود بزرگ، از نگاشت‌های خود سازمانده برای تعیین مراکز اولیه خوشه‌ها در الگوریتم فازی c-means استفاده کردند. نتایج به‌دست آمده در پژوهش آنان نشان داد که این

[1] Geographic Information Systems
[2] L-Moments

روش در حوضه مورد مطالعه، از نظر تشکیل مناطق همگن و ارائه برآوردهای مناسب در تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب با استفاده از الگوریتم گشتاورهای خطی، عملکرد قابل قبولی دارد. افزون بر این، مشاهده شد که استفاده از خوشه‌بندی فازی می‌تواند برآوردهای قابل اعتماد سیلاب را برای دوره‌های بازگشت طولانی‌تر امکان‌پذیر کند. همچنین، بر اساس شاخص‌های صحت خوشه‌بندی فازی به‌نظر می‌رسد که تعداد دو یا سه منطقه برای اجرای تحلیل فراوانی منطقه‌ای در این آبخیز مناسب است. Farsadniya و همکاران (۲۰۱۴) کارایی الگوریتم خوشه‌بندی فازی برای منطقه‌ای کردن حوزه آبخیز استان مازندران را ارزیابی کردند و برای بهبود همگنی مناطقی که با این الگوریتم خوشه‌بندی شده و از لحاظ آماری همگن نبودند، راهکارهایی ارائه دادند. همچنین، چندین شاخص ارزیابی کارایی خوشه‌بندی فازی در تعیین تعداد خوشه‌های بهینه نشان داده شد. نتایج نشان داد که استان مازندران از سه منطقه همگن هیدرولوژیک تشکیل شده است. Eslami و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی روابط برآورد دبی بیشینه لحظه‌ای با عوامل موثر فیزیوگرافی نظیر مساحت، طول، شیب، اختلاف ارتفاع و همچنین، عامل اقلیمی بارش در حوزه‌های آبخیز قره‌قوم، اترک و کویر مرکزی پرداختند. به‌منظور انجام این پژوهش، در هر یک از حوضه‌های قره‌قوم، اترک و کویر به‌ترتیب تعداد ۲۴، ۱۴ و ۱۴ زیرحوضه دارای ایستگاه آبسنجی انتخاب شدند. به‌طور کلی، در منطقه مورد مطالعه بررسی روابط دبی‌های بیشینه لحظه‌ای سیلاب با استفاده از تحلیل رگرسیونی نشان دادند که پارامترهای مساحت، شیب، طول و بارندگی متوسط سالیانه حوضه، نسبت به دبی با دوره بازگشت‌های مختلف همبستگی قابل قبولی را دارند. Shu و Quarda (۲۰۰۷) از روش‌های تحلیل همبستگی کانونی و شبکه‌های عصبی مصنوعی در تحلیل فراوانی سیل برای مناطق فاقد آمار استفاده کردند. بر اساس تحقیق آنان، روش تلفیقی هر دو روش بکار گرفته شده در تخمین مقادیر سیل برای مناطق فاقد آمار، کارایی بهتری نسبت به هر کدام از روش‌ها داشت. طی پژوهشی که به‌وسیله Seckin و همکاران (۲۰۱۱) به‌منظور پیش‌بینی دبی سیلاب در کشور ترکیه انجام شد، از سامانه عصبی-فازی تطبیقی و دو مدل شبکه عصبی توسعه یافته استفاده کردند. داده‌های مورد استفاده برای این منظور شامل، مساحت زهکشی، ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی، دوره بازگشت و دبی بیشینه بودند که از ۵۴۳ حوضه در سراسر ترکیه به‌دست آمده بودند. نتایج به‌دست آمده از مدل و سپس، مقایسه و ارزیابی با توجه به میانگین مربع خطا، میانگین مطلق خطا نشان داد که سامانه استنتاج تطبیقی فازی عصبی عملکرد بهتری در پیش‌بینی دبی بیشینه نسبت به روش‌های رگرسیون داشتند و قابل مقایسه با روش‌های شبکه‌های عصبی بودند. علاوه‌بر آن، Choi و همکاران (۲۰۱۱) به‌منظور پیش‌بینی دقیق‌تر دبی سیلاب در حوضه تانچون کره جنوبی از یک روش فازی-عصبی برای به کمینه رساندن مقدار عدم قطعیت‌های موجود در مدل‌های متعارف پیش‌بینی سیلاب استفاده کردند. سپس، با استفاده از داده‌های بارش و ارتفاع سطح آب، یک مدل عصبی-فازی تطبیقی برای ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی سیل ساختند. نتایج نشان داد که متوسط خطای ارتفاع ۲۴/۴۸ درصد و مقدار متوسط RMSE معادل ۰/۳۶۷ متر است. Ata'ii و همکاران (۲۰۱۲) روابطی بین خصوصیات فیزیوگرافی حوضه (همچون مساحت، محیط، شیب متوسط حوضه، طول آبراهه اصلی و ضریب شکل) و دبی‌های پیش‌بینی شده با دوره‌های بازگشت مختلف به روش رگرسیون خطی و غیرخطی چند متغیره برقرار کردند. نتایج نشان داد، در مدل‌های برآورد دبی با دوره‌های کوتاه‌مدت، پارامترهای بیشتری در مدل پیش‌بینی سیلاب دخیل بوده‌اند. Rasoulzade و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی تحلیل منطقه‌ای بین دبی سیلاب به‌عنوان عامل وابسته و ویژگی‌های فیزیکی به‌عنوان عامل مستقل به روش معکوس در حوضه‌های استان اردبیل پرداختند. منطقه مورد پژوهش، شامل نه ایستگاه هیدرومتری همگن می‌باشد. چهار نوع مدل، شامل مدل‌های مساحت، مساحت-شیب، مساحت-شیب-طول آبراهه‌ها و مدل فولر مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد، مدل مساحت-شیب-طول آبراهه‌ها برای دوره بازگشت‌های کمتر از ۵۰ سال دقت قابل قبولی دارد. به‌طوری‌که با افزایش دوره بازگشت، دقت همه

مدل‌ها کاهش یافت. بنابراین، با توجه به دقت این مدل برای دوره بازگشت‌های کم و متوسط می‌توان به‌منظور تحلیل منطقه‌ای سیلاب در منطقه مورد مطالعه که دارای اقلیم نیمه‌خشک می‌باشد، استفاده شود.

Sheikh و همکاران (۲۰۱۵) آمار بیشینه دبی لحظه‌ای سالانه ۳۸ ایستگاه هیدرومتری استان مازندران با کمینه و بیشینه طول آماری ۱۳ و ۵۶ سال و خصوصیات فیزیوگرافی و اقلیمی حوزه‌های آبخیز را گردآوری کردند. ابتدا، با استفاده از روش درون‌یابی بر پایه فضای فیزیوگرافی (PSBI[1])، مناطق همگن در فضای فیزیوگرافی را بر اساس رویکرد همسایگی هیدرولوژیکی تعیین کردند. سپس، به‌منظور بررسی صحت نتایج، از روش گشتاورهای خطی برای تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب استفاده کردند. همگنی مناطق به‌دست آمده از خوشه‌بندی با استفاده از آزمون‌های همگنی و ناهماهنگی بررسی شد. نتایج نشان داد، روش PSBI عملکرد بهتری نسبت به روش گشتاورهای خطی ارایه می‌دهد و با افزایش دوره بازگشت کیفیت برآوردهای آن بهبود می‌یابد، در حالی که روش گشتاورهای خطی برای دوره‌های بازگشت کوتاه عملکرد بهتری را ارایه می‌دهد. Dastoorani و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی سعی کردند تا تحلیل دقیق‌تری از روش تجربی فولر و واسنجی ضریب منطقه‌ای آن در حوضه ایران مرکزی ارائه دهند. در این تحقیق، از آمار ۳۱ ساله ۱۰ ایستگاه آبسنجی در این حوضه استفاده شد تا بر این اساس مقادیر دبی لحظه‌ای سیل در دوره بازگشت‌های مختلف، محاسبه شود. حلیل‌های آماری در مرحله اول نشان داد که روش تجربی فولر در این محدوده اقلیمی وسیع، با کیفیت آماری ضعیف موجود، کارایی چندان مناسبی ندارد. البته، نتایج آزمون روش تجربی فولر در محدوده‌های اقلیمی دیگر (نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب و مرطوب) از کارایی نسبتاً بالاتر این روش حکایت دارد. آزمون همگنی لانگبین که اغلب برای تعیین گروه‌های همگن هیدرولوژیکی استفاده می‌شود، بر اساس یافته‌های این تحقیق در شرایط ایران مرکزی کارایی بالایی از خود نشان نداد. نتایج یک تحلیل منطقه‌ای سیلاب در مقیاس جهانی که به‌وسیله Smith و همکاران (۲۰۱۵) با ترکیب خوشه‌ای-هیبریدی با روش شاخص سیلاب انجام شد، نشان داد که مساحت حوزه آبخیز و متوسط بارندگی سالیانه مهمترین عوامل موثر بوده است.

پژوهش مروری حاضر، عمدتاً متمرکز بر بررسی نتایج مربوط به روابط حاصل از روش‌های مختلف تحلیل منطقه‌ای سیلاب و نیز روش‌های تعیین همگنی حوزه‌های آبخیز از میان پژوهش‌های صورت گرفته می‌باشد. پژوهش‌ها و بررسی‌های گذشته، نتایج و توصیه‌های متعددی به‌همراه داشته است. در این راستا، جمع‌بندی نتایج که بیانگر مقایسه روش‌های استفاده شده باشد، موضوعی درخور توجه و ارزشمند است. در این راستا، نتایج به‌دست آمده افزون بر چندین فقره گزارش طرح‌های پژوهشی، مقالات علمی، پایان‌نامه‌های دانشجویی و نیز سایر منابع انتشار یافته، بررسی و جمع‌بندی شده است. هدف از انجام این پژوهش، در واقع بررسی و تحلیل آماری عوامل مهم موثر و دخیل در روابط تحلیل منطقه‌ای سیلاب و نیز روش‌های تعیین همگن‌بندی حوزه‌های آبخیز است.

مواد و روش‌ها

بررسی منابع علمی (گزارشات، طرح‌های پژوهشی و مقالات و ...): روش پژوهش حاضر، توصیفی و کتابخانه‌ای بوده که در نتیجه آن با بررسی و تجزیه و تحلیل کارهای انجام شده، نتایج به‌طور جمع‌بندی و تلفیقی ارائه شده است. برای بررسی و بهره‌گیری از تجربیات گذشته، پژوهش‌های انجام شده به‌وسیله محققین پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و سایر مراکز پژوهشی مرتبط با مسائل آب و آبخیزداری و به‌ویژه دانشگاه‌ها در قالب پروژه‌های تحقیقاتی و یا پایان‌نامه‌های دانشجویی، ضمن جستجوی کتابخانه‌ای برای دستیابی به کتب، نشریات و گزارشات مربوطه، جستجوهای اینترنتی مرتبط با موضوع روش‌های برآورد و تحلیل منطقه‌ای سیلاب نیز صورت گرفته است. باتوجه به موارد فوق، به‌طور کلی روش انجام کار در این تحقیق معطوف به بررسی

[1] Physiographical-Space-Based Interpolation

روش‌های مختلف تحلیل منطقه‌ای سیلاب و در کنار آن بررسی روش‌های تعیین همگنی حوزه‌های آبخیز و نقاط قوت و ضعف روش‌های به‌کار گرفته در پژوهش‌های گذشته بوده است.

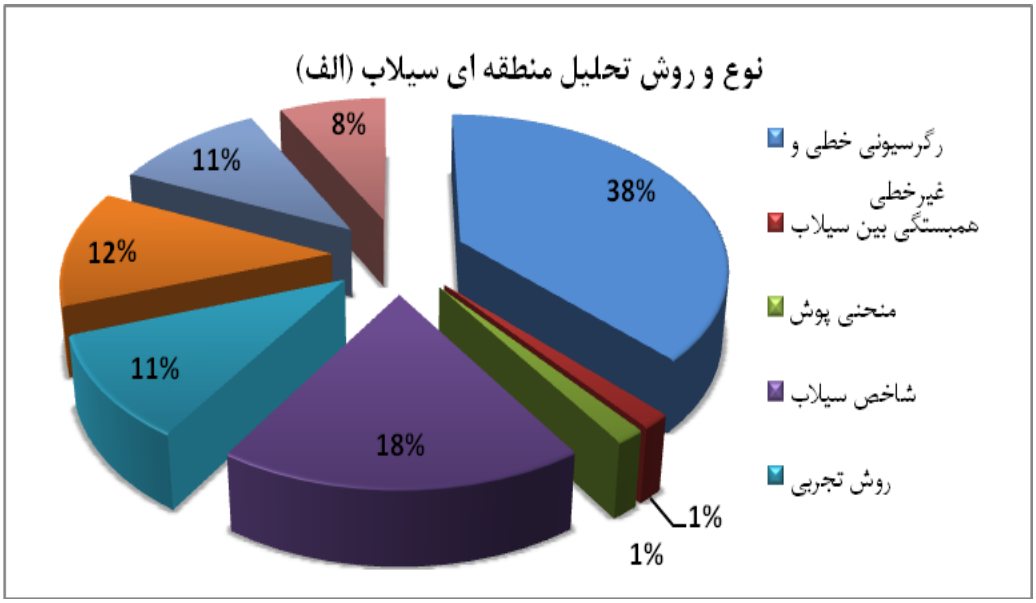
بررسی نتایج و تحلیل روش‌های تعیین همگنی حوزه‌های آبخیز: روش‌های به‌کار گرفته شده در این زمینه شامل روش دالریمپل و لانگبین، روش تحلیل خوشه‌ای، روش منحنی‌های اندرو، روش تابع تشخیص و روش گشتاور خطی با بررسی ۲۷ منبع علمی شامل پایان‌نامه‌ها، طرح‌های پژوهشی و مقالات مرتبط بوده است.

بررسی نتایج و تحلیل‌های مربوط به روش‌های تحلیل منطقه‌ای سیلاب: روش‌های به‌کارگرفته شده در این زمینه با بررسی ۴۲ منبع علمی شامل پایان‌نامه‌ها، طرح‌های پژوهشی و مقالات مرتبط شامل روش‌های تجربی، روش شاخص سیلاب، رگرسیون خطی و غیرخطی، گشتاور خطی، هیبرید، روش منطق فازی و شبکه عصبی مصنوعی بوده است.

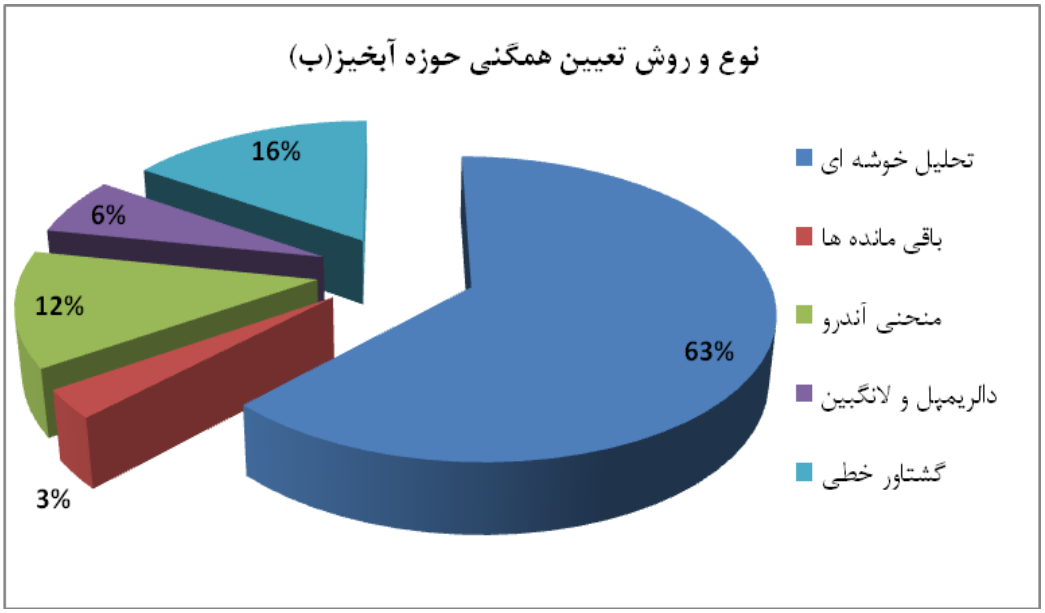
تعیین روش‌های مناسب همگنی و تحلیل منطقه‌ای سیلاب در پژوهش‌های انجام شده: هر چند دستیابی به تعیین مناسب‌ترین روش‌ها از نظر کارایی و دقت آن‌ها، پژوهش‌های جامع‌تر و بررسی منابع علمی بسیاری را طلب می‌کند، اما تلاش شده است تا در بضاعت منابع قابل دسترس جمع‌بندی قابل قبولی از تحلیل نتایج پژوهش‌های گذشته در این نوشتار ارائه شود. بر این اساس، به کاستی‌ها و نواقص موجود در نحوه پیاده‌سازی روش‌های انجام شده نیز پرداخته شده است. در همین ارتباط، منابع علمی (پژوهش‌های انجام شده) جامعه هدف این طرح، از جنبه‌های الف- نوع روش تعیین همگنی حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه، ب- نوع روش تحلیل منطقه‌ای سیلاب، ج- نوع عوامل دخیل در تعیین همگنی و نیز مدل‌های برآوردی استخراجی بررسی و نتایج آن‌ها تحلیل شده است. در این خصوص، شایان ذکر است، تحلیل و جمع‌بندی نتایج به کمک روش‌های آماری و منطق فراوانی نسبی و به‌کارگیری نمودارهای مقایسه‌ای برای هر یک از حالات فوق انجام گرفته است.

بحث و نتایج

بررسی منابع از نظر بکارگیری نوع روش‌های تحلیل منطقه‌ای سیلاب و تعیین همگنی حوزه‌های آبخیز: نتایج مربوط به نوع روش‌های تحلیل منطقه‌ای سیلاب و نیز روش تعیین همگنی حوزه‌آبخیز که در منابع علمی مورد نظر تا کنون به‌کار گرفته شده و یا پیاده‌سازی آن‌ها مورد توجه بوده، به شرح شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱- الف) درصد به‌کارگیری روش‌های مختلف تحلیل منطقه‌ای سیلاب و روش‌های تعیین همگنی حوضه‌ها



شکل ۱- ب) درصد به‌کارگیری روش‌های تعیین همگنی حوضه‌ها

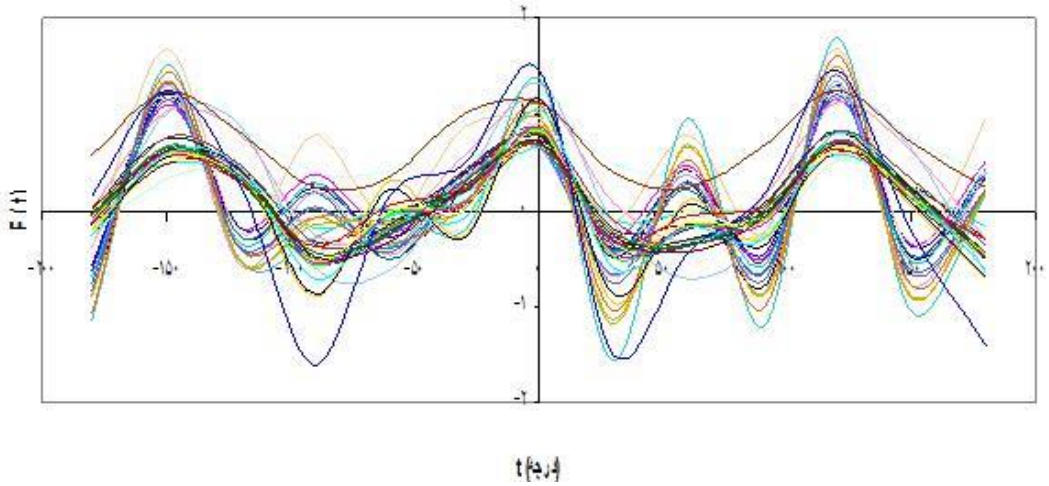
تعیین روش‌های مناسب همگنی حوزه‌های آبخیز بر اساس پژوهش‌های انجام شده: خوشه‌بندی یکی از تکنیک‌های بسیار قدرتمند برای کشف گروه‌ها و وابستگی‌های طبیعی در یک مجموعه داده و همچنین، شناخت الگوهای ساختاری و موضوعی موجود در آن، بدون داشتن هر گونه پیش‌زمینه شناختی در مورد مشخصات و ویژگی‌های داده است (Parajka و همکاران، ۲۰۰۵). تا کنون پژوهش‌های مختلفی برای تجزیه و تحلیل منطقه‌ای مولفه‌های هیدرولوژیکی به انجام رسیده است که در هر یک از این پژوهش‌ها، روش‌های مختلف همگن‌بندی بر اساس توصیه محققین به‌کار برده شده است. از جمله این تحقیقات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

Kjeldsen و Smithers (۲۰۰۲) در آفریقای جنوبی برای تجزیه و تحلیل منطقه‌ای سیلاب و نیز Malekiyan و همکاران (۲۰۱۳) در منطقه گربایگان استان فارس به‌منظور مکان‌یابی مناطق مناسب پخش سیلاب از روش همگن‌بندی سلسله مراتبی استفاده کرده‌اند. برای برآورد دبی بیشینه روزانه استان فارس روش آزمون همگنی لانگبین به‌وسیله Mosavi و Sepaskhah (۱۹۸۹) به‌کار گرفته شد. چهار روش نزدیک‌ترین همسایه، دورترین همسایه، وارد و متوسط گروه به‌وسیله Rohani (۲۰۰۱) و Abbassizade (۲۰۰۳) مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت و روش وارد را برای منطقه مورد پژوهش بهینه تشخیص داده‌اند. در پژوهشی، در حوزه‌های آبخیز غرب کشور روش‌های سلسله مراتبی و آزمون همگنی لانگبین به‌وسیله Khosravi و همکاران (۲۰۱۱) مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. نتایج منتشر شده، بهترین روش همگن‌بندی برای تحلیل منطقه‌ای سیلاب را روش سلسله مراتبی گزارش کرده‌اند. بسیاری از محققین از جمله Biyabanaki و Eslamiyan (۲۰۰۵) و Ataei و Shiran (۲۰۰۱) از روش تحلیل خوشه‌ای برای تعیین مناطق همگن بر اساس ویژگی‌های هیدرولوژیک استفاده کردند. تاثیر روش‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی در دقت مدل‌سازی ضریب جریان در حوضه کرخه به‌وسیله Kazemi و Porhemmat (۲۰۱۸)، مورد بررسی قرار گرفت. ایشان نتیجه گرفتند که روش سلسله مراتبی "نزدیک‌ترین همسایه" به‌دلیل کمینه شاخص‌های ارزیابی خطای نسبی، میانگین مطلق خطا و مجذور میانگین مربعات خطا از سایر روش‌ها مناسب‌تر است. روش‌های تعیین همگنی بررسی شده به‌وسیله Telvari و Samiee (۲۰۱۱)، Eslami و Telvari (۲۰۰۵) و Ghiasi و همکاران (۲۰۰۴)، نیز روش‌های سلسله مراتبی را به‌دلیل دقت، استقلال پارامترهای موثر و امکان استفاده از توابع تشخیص و تحلیل عاملی، مناسب‌تر تشخیص دادند. جمع‌بندی بررسی نتایج گزارشات طرح‌های پژوهشی، مقالات و

منابع علمی مرتبط با روش‌های تعیین همگنی بیانگر آن است که مناسب‌ترین روش تعیین گروه‌های همگن از بین حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه، روش تحلیل خوشه‌ای است. در این روش، تحلیل عاملی یکی از گام‌های مهم در تعیین نوع عوامل از جنبه مستقل بودن پارامترهای موثر، مدنظر قرار می‌گیرد. همچنین، تفکیک کامل گروه‌های همگن تعیین شده، یا درصد پوشش بین گروهی از طریق روش توابع متمایزکننده، گام تکمیلی در تعیین همگنی زیرحوضه‌ها می‌باشد. هر چند رویکرد فازی در تعلق یک مورد یا مواردی از زیرحوضه‌ها به یک یا دو و حتی سه گروه از گروه‌های همگن امکان دارد. در مورد روش تعیین حوزه‌های آبخیز از طریق منحنی‌های آندرو نیز قابل ذکر است، از مزیت‌های این روش پیاده‌سازی و استخراج یک نمودار تابع ریاضی (رابطه ۱) است.

$$f(t) = \frac{x_1}{\sqrt{2}} + x_2 \sin(t) + x_3 \cos(t) + x_4 \sin(2t) + x_5 \cos(2t) + \ldots \quad (۱)$$

که عملاً بیانگر رفتار هیدرولوژیکی حوضه‌ها و نمایش آن به‌صورت یک نمودار هندسی قابل آشکارسازی است. اما ضعف این روش در صورت تعدد حوضه‌ها در عدم تفکیک بصری نمودارها است. شکل ۲ این موضوع را به‌طور نمونه نشان می‌دهد.



شکل ۲- منحنی‌های آندرو حوضه‌ها برای دوره آماری ۳۰ ساله (Khalediyan و همکاران، ۲۰۰۹)

ویژگی‌ها، نقاط قوت و ضعف نتایج مربوط به نوع روش‌های تحلیل منطقه‌ای سیلاب

الف- روش رگرسیون: در این روش، توجه به این نکته لازم است که بهترین مدل، مدلی است که کمترین درصد خطا را داشته باشد. حدس چنین مدل بهینه‌ای نسبتاً مشکل بوده، بیشتر مواقع از روش‌های عددی برای حدس پارامترهای مدل استفاده می‌شود. در عمل تفسیر نتایج این روش ساده نیست، زیرا توصیف تمام تغییرات دبی بر اساس خصوصیات حوضه با استفاده از رگرسیون عملاً امکان‌پذیر نمی‌باشد. بنابراین، قسمتی از باقی‌مانده تغییرات مربوط به شانس و بخشی نیز مربوط به آن دسته از خصوصیات حوضه است که وارد مدل نشده‌اند. در هر صورت، جدا کردن مقدار واقعی هر یک از این دو موضوع مشکل است. استقلال آمار ایستگاه‌ها از یکدیگر نیز مسئله مهم دیگری است. در حالت کلی دقت این روش به‌طور قابل ملاحظه‌ای وابسته به نوع عوامل، تعداد و دامنه تغییرات کمی عوامل دخیل می‌باشد. هر چند که طول دوره آماری داده‌های به‌کار رفته خود نیز از جمله موارد مهم در کارایی این روش به‌ویژه برای تخمین در مناطق فاقد آمار است.

ب- روش سیل شاخص: یک تکنیک منطقه‌ای کردن با تاریخچه طولانی در تحلیل فراوانی سیلاب است. به عقیده Maidment (۱۹۹۳) اگر فرضیات روش سیل شاخص تامین شود دقت این روش بالا می‌باشد. یکی از فرضیات اساسی روش سیل شاخص این است که در منطقه همگن مورد نظر، ترم‌هایی نظیر ضریب تغییرات (CV)[1] ثابت بوده، همچنین،

[1] Coefficient of Variation

فرض می‌شود که همه داده‌های ایستگاه‌ها در منطقه همگن از توزیع گامبل تیپ (I) پیروی کنند (Wang، ۲۰۰۰). البته ایشان در تحقیقات بعدی نشان داد که فرض ثابت بودن ضریب تغییرات در روش سیل شاخص می‌تواند ارضاء نشود.

ج- روش ناحیه‌ای کردن بیشینه مقادیر ثبت شده منطقه‌ای: در واقع روش ناحیه‌ای کردن مقادیر بیشینه ثبت شده، از همه داده‌های موجود در ناحیه نمی‌تواند استفاده کند. در هر حال، برای چند ایستگاه که دست‌کم ۱۰ سال آمار مشترک دارند، روش ناحیه‌ای کردن بیشینه مقادیر ثبت شده می‌تواند برای به‌دست آوردن سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به این حساسیت، این روش می‌تواند به‌عنوان یک روش گسترده برای به‌دست آوردن داده‌های نقطه‌ای با دوره بازگشت‌های بزرگ‌تر برای یک ناحیه مورد استفاده قرار گیرد.

د- روش گشتاورهای خطی: در تمام روش‌های برازش توزیع‌های آماری، تعیین پارامترهای توزیع، با استفاده از داده‌های نمونه انجام می‌شود. روش گشتاورهای خطی، ترکیبات خطی داده‌های نمونه را در ارتباط با روابط تئوریکی مربوط به پارامترهای توزیع معادل می‌گیرد که این کار باعث اجتناب از تبدیل‌های غیرخطی داده‌ها می‌شود. در گشتاورهای رایج مثل گشتاورهای دوم، سوم و چهارم، داده‌های خام برای به‌دست آوردن انحراف معیار، چولگی و کشیدگی به‌ترتیب به توان‌های دو، سه و چهار می‌رسند که این تبدیل‌های غیرخطی، ما را به تحریف و دوری از واقعیت هدایت می‌کند و همچنین، باعث برآورد ضعیفی از پارامترها می‌شود، مخصوصاً وقتی که در داده‌های موجود داده‌های پرت وجود داشته باشد. بررسی‌های اخیر از جمله پژوهش‌هایی نظیر Eslamian و Chavoshi (۲۰۰۴) نشان داده است که گشتاورهای وزنی احتمال و گشتاورهای خطی، اغلب نسبت به تکنیک‌های برآورد استاندارد، به‌ویژه در مطالعات منطقه‌ای ارجحیت دارند. برای دست‌یابی به یک تابع منطقه‌ای استفاده از نمودار گشتاورهای خطی آسان می‌باشد. منحنی نسبت گشتاورهای خطی که به‌وسیله Hosking و Wallis (۱۹۹۳) معرفی شده است، نشان‌دهنده ارتباط بین $L-\tau_4$ و $L-\tau_3$ (یا $L-\tau$ و $L-\tau_3$) است. نمودار گشتاور خطی (نمودار L-Cv در برابر LCs و نمودار LCs در برابر LCk) یک روش بصری مناسب برای انتخاب تابع منطقه‌ای است و همواره به روش‌های معمولی برآورد ضرایب توابع توزیع (ضریب تغییرات، ضریب چولگی و ضریب برجستگی) ترجیح داده می‌شود. با این حال، نمودار گشتاورهای خطی احتمال اشتباه را بوجود می‌آورد. به همین دلیل، Hosking و Wallis (۱۹۹۷) با ارائه آماره‌های ناهمگونی، همگنی ناحیه‌ای و نکوئی برازش، تحلیل منطقه‌ای متغیرهای هیدرولوژیک را آسان و قابل اطمینان کردند. قابل ذکر است که از جنبه تحلیل فراوانی ناحیه‌ای سیلاب، روش گشتاورهای خطی، دو ویژگی وجود و یکتایی را دارا هستند.

ه- روش توزیع فراوانی استاندارد: این روش برای مناطقی که با توزیع گمبل نوع اول برازش داشته باشند، توصیه شده است. این روش نسبت به روش سیل شاخص از دو نظر بهتر و برتر می‌باشد.

۱- این روش میانگین‌های حدود اعتماد محاسبه شده برای مقادیر چندک‌های برآورد شده را ارائه می‌دهد.

۲- به‌طور جداگانه، نواحی همگن سیلابی را برای منحنی‌های ناحیه‌ای و معادلات دبی سیلاب متوسط سالیانه ($\bar{Q}$) به‌دست می‌آورد.

و- روش‌ایستگاه-سال: این روش مبتنی بر این فرضیه است که داده‌های مستقل دبی اوج سالیانه را می‌توان در یک منطقه ترکیب کرده، آمار مرکب طولانی برای استفاده در معادلات تناوب سیل به‌کار گرفته شود. همچنین، فرض می‌شود که منحنی تناوب ایستگاه‌های مختلف شبیه یکدیگر هستند و این امر در صورتی تحقق می‌یابد که برای یک دوره زمانی معین آمار و داده وجود داشته باشد. از فرضیات این روش چنین استنباط می‌شود که منطقه از نظر هواشناسی (برای تحلیل بارش) و رفتار هیدرولوژیکی (برای تحلیل سیل) یکنواخت بوده، لذا، برای مناطق کوهستانی این روش عملی نیست. محدودیت‌هایی که در این روش وجود دارد، عبارتند از:

۱- بایستی یک دوره نسبتا کافی از اطلاعات و آمار وجود داشته باشد و این امر برای تمامی ایستگاه‌ها، حتمی و الزامی است. اگر فقط برای یک

سال آمار و اطلاعات از ایستگاهی وجود داشت، در آن‌صورت بیشترین مقدار بارش مشاهده شده به‌عنوان یک بارش با دوره بازگشت ۱۰ سال به حساب می‌آید.

۲- دست‌کم باید ۱۰ سال آمار مستقل وجود داشته باشد و در غیر این صورت تخمین تناوب غیرممکن خواهد بود. چون یکنواختی آب و هوایی و یا رفتار هیدرولوژیکی منطقه امر نادری است، لذا، باید ایستگاه‌های مورد نظر در یک گستره یکنواخت باشند تا از یک طرفه بودن آمار جلوگیری شود.

۳- اگر ایستگاه‌ها طوری هستند که بارش محلی را اندازه‌گیری می‌کنند، این ایستگاه‌ها باید از یکدیگر مستقل بوده، اما اگر چند ایستگاه با یکدیگر بارش را اندازه‌گیری می‌کنند، تعداد آمار مستقل کاهش می‌یابد. حال اگر آمار مربوط به ایستگاه‌ها کاملاً مستقل باشد، درجه صحت و درستی استفاده از این روش افزایش می‌یابد.

ز- روش هیبرید: این روش، به‌منظور غلبه بر مشکلات موجود در مناطق با آب و هوای خشک، که معمولاً در سال‌های خشک با کمبود آمار دبی جریان مواجه‌اند، ارائه شده، به‌طوری‌که تمام آمار قابل دسترس ایستگاه‌های منطقه استفاده می‌شود. در این روش، می‌توان هر یک از توزیع‌های احتمالات برای برازش آمارهای ترکیبی را به‌کار گرفت و سپس، از یک رابطه تجربی ساده برای تخمین سیلاب با دوره بازگشت تا صد سال استفاده کرد. با توجه به این‌که برای برآورد دبی‌های با دوره بازگشت بزرگ‌تر از ۱۰۰ سال بایستی از روابط منطقه‌ای مبتنی بر تعداد داده‌های کافی استفاده کرد، در روش هیبرید با فرض دست‌کم ۱۰۰ داده ترکیبی در هر طبقه این مشکل برطرف می‌شود و چون داده‌های مقادیر کوچک و بزرگ با هم ترکیب می‌شود، باعث برازش بهتر با توزیع‌های احتمالاتی نیز می‌شود.

ح- روش شبکه عصبی مصنوعی: تحقیقات پیرامون روش شبکه عصبی در برآوردهای منطقه‌ای سیلاب اغلب بیانگر دقت بهتر نسبت به روش‌هایی چون رگرسیون بوده، این در حالی است که روش شبکه عصبی از توانمندی و قابلیت بالاتری نیز برخوردار است. از جمله در مواردی که تعداد ایستگاه‌ها کم باشد، دخالت عواملی چون دوره بازگشت نیز به‌عنوان ورودی در شبکه عصبی موجب افزایش دقت مدل‌های خروجی می‌شود. دلیل آن این است که مقادیر دبی با دوره بازگشت‌های مختلف به‌طور کامل مستقل نیستند و استفاده از شبکه‌های جداگانه این ارتباط را نادیده می‌گیرد، اما با ترکیب خروجی‌ها در یک شبکه این همبستگی به‌طور ضمنی در حین آموزش شناسایی می‌شود. به‌عنوان مثال، این امر در پژوهش Saghafiyan و همکاران (۲۰۱۵) باعث بهبود فوق‌العاده نتایج شبکه عصبی در مقایسه با نه مدل مجزا در حوزه‌های آبخیز در جنوب غرب کشور شده است. یکی از محاسن استفاده از این نوع داده ورودی در مرحله آموزش به شبکه عصبی آن است که چون دوره بازگشت به‌عنوان ورودی به شبکه است، در مرحله شبیه‌سازی می‌توان هر دوره بازگشتی را به‌عنوان ورودی به شبکه وارد کرد و نقشه‌های دبی سیلابی به ازای هر دوره بازگشتی را محاسبه کرد.

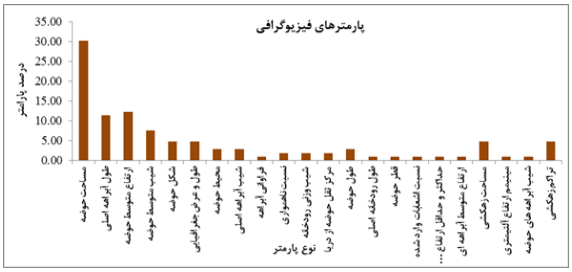
از جمله معایب مدل شبکه عصبی در تحلیل منطقه‌ای آن است که چون داده‌های ورودی و خروجی در مرحله آموزش به شبکه عصبی باید نرمال شوند، مقادیر کمتر و بیشتر از داده‌های ورودی در مرحله شبیه‌سازی را نمی‌توان به شبکه وارد کرد (Saghafiyan و همکاران، ۲۰۱۵). در نتیجه، شبکه عصبی تنها می‌تواند مقادیر بین ایستگاه‌ها را محاسبه کند و مقادیر بالادست ایستگاه‌های مبدأ و مقادیر پایین‌دست ایستگاه‌های خروجی حوضه را نمی‌توان محاسبه کرد، مگر آن‌که در مرحله آموزش داده‌ها بین (۱-۰) نرمال نشوند و مقداری بازه نوسان برای مقادیر کمینه و بیشینه در نظر گرفت و یا در زمان آموزش مقادیر کمینه و بیشینه موجود در حوضه محاسبه شده و این مقادیر برای نرمال‌سازی به شبکه عصبی وارد شوند.

ارزیابی روابط تحلیل منطقه‌ای بر اساس پارامترهای دخیل: به‌طور کلی، هر چقدر تعداد پارامترهای هیدرولوژیک موثر در جریان‌های سطحی حوضه را در مدلی که به‌نحوی رابطه بین این پارامترها و رواناب حوضه را بیان می‌کنند، افزایش داده شود، نتایج حاصل به واقعیت نزدیک‌تر خواهد شد، ولی از طرفی، اضافه کردن تعداد متغیرهای مستقل، کاربرد روابط را مشکل‌تر می‌سازد (Sharifi-Alavije و

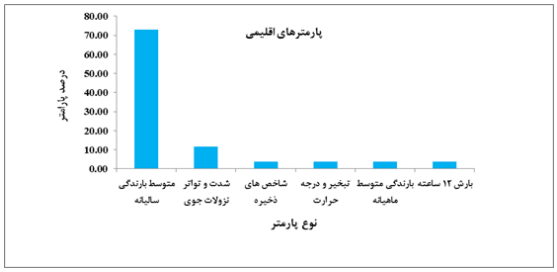
Eftekharzade، ۱۹۹۵). بنابراین، در این بخش یک دید کلی از عوامل حوزه آبخیز که به‌طور رایج برای تخمین تحلیل منطقه‌ای سیلاب استفاده می‌شود، آورده شده است. علاوه‌بر این، عوامل اقلیمی، هیدرولوژیکی و مربوط به پوشش زمینی نیز از جمله عواملی هستند که در روابط تحلیل منطقه‌ای برای تخمین سیلاب مورد توجه محققین و کارشناسان، به‌ویژه مطالعات مورد بررسی در این پژوهش قرار گرفته است. طبق مطالعات انجام گرفته، عوامل فیزیوگرافی استفاده شده شامل مساحت حوضه، طول آبراهه یا رودخانه اصلی، ارتفاع متوسط حوضه، شیب متوسط حوضه، شکل حوضه، طول و عرض جغرافیایی، محیط حوضه، شیب آبراهه اصلی، تراکم زهکشی، نسبت ناهمواری، شیب وزنی رودخانه، مرکز ثقل حوضه از دریا، طول حوضه، طول رودخانه و فراوانی آبراهه می‌باشد. در میان پارامترهای فیزیوگرافی مساحت حوضه (۳۱/۱۹ درصد) بیشترین درصد استفاده را داشته است (شکل ۳). عوامل اقلیمی استفاده شده شامل متوسط بارندگی سالیانه، شاخص-های ذخیره، شدت و تواتر نزولات جوی، تبخیر و درجه حرارت، بارندگی متوسط ماهیانه و بارش ۱۲ ساعته است که بیشترین درصد کاربرد مربوط به پارامتر متوسط بارندگی سالیانه با ۷۳/۰۸ درصد می-باشد (شکل ۴). پارامترهای پوشش زمین شامل درصد مساحت جنگلی، پوشش و کاربری اراضی، درصد مساحت تالاب‌ها، درصد مساحت دریاچه‌ای، مساحت بخش‌های استخر و شاخص خاک است که درصد مساحت جنگلی با ۲۷/۲۷ درصد بیشترین کاربرد را در بین پارامترهای نامبرده دارد (شکل ۵). پارامترهای هیدرولوژیکی استفاده شده در مطالعات انجام شده شامل ارتفاع رواناب سالیانه، فراوانی آبراهه و میانگین سیلاب سالیانه می‌باشد که میانگین سیلاب سالیانه با حدود ۵۰ درصد بیشترین استفاده را داشته است (شکل ۶). همچنین، پارامترهای هیدرواقلیمی شامل ارتفاع رواناب سالیانه، میانگین سیلاب سالیانه، متوسط بارندگی سالیانه، شاخص‌های ذخیره، شدت و تواتر نزولات جوی، تبخیر و درجه حرارت، بارندگی متوسط ماهیانه و بارش ۱۲ ساعته است که بیشترین پارامتر استفاده شده مربوط به متوسط بارندگی سالیانه با ۶۳/۳۳ درصد کاربرد می‌باشد (شکل ۷). به‌طور کلی، در همه منابع مطالعه شده بیشترین عامل مورد استفاده با حدود ۷۲/۱۱ درصد مربوط به عوامل فیزیوگرافی است. همچنین، عوامل اقلیمی و پوشش سطحی به‌ترتیب ۱۷/۶۹ و ۷/۴۸ درصد استفاده شده‌اند. کمترین عامل کاربردی مربوط به پارامترهای هیدرولوژیکی با ۲/۷۲ درصد است (شکل ۸). شایان ذکر است، بر اساس پژوهش Benson(۱۹۶۸) سطح حوضه، شاخص‌های ذخیره و مقدار نزولات جوی و شدت و تواتر آن‌ها، تبخیر و درجه حرارت را به‌عنوان مهمترین عوامل معرفی شده است. در پژوهش‌های دیگری که به‌وسیله Stamy و Hess (۱۹۹۳)، Davodi-Rad و همکاران (۱۹۹۹)، Telvari و Eslami (۲۰۰۲)، Mohseni-saravi و همکاران (۲۰۰۳) و Eslami و همکاران (۲۰۱۲) انجام شده است، مساحت را به‌عنوان مهمترین عامل در پژوهش خود آورده‌اند. Chavoshi-Brojani و Eslamiyan (۱۹۹۹) علاوه‌بر مساحت، ارتفاع حوزه آبخیز را نیز به‌عنوان مهمترین عامل نام برده‌اند. Khalediyan و همکاران (۲۰۰۹) علاوه‌بر متوسط بارندگی سالیانه، شکل حوضه و بارندگی بیشینه روزانه را نیز به‌عنوان مهمترین عامل استفاده کرده‌اند. همچنین، Mohseni-Saravi (۲۰۰۳) علاوه‌بر مساحت و میانگین بارندگی سالیانه، تراکم زهکشی و ارتفاع متوسط حوضه را نیز به‌عنوان مهمترین عامل معرفی کرده‌اند. Eslami و همکاران (۲۰۱۲) علاوه‌بر مساحت حوضه، طول حوضه و شیب حوضه را نیز به‌عنوان مهمترین عوامل نام برده‌اند. Afzali و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهش خود شیب متوسط حوضه، طول آبراهه اصلی، ارتفاع متوسط حوضه را به‌عنوان مهمترین پارامترها در تعیین مناسب‌ترین مدل‌های منطقه‌ای مولفه‌های هیدروگراف واحد سیل معرفی کرده‌اند. Smith و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی که در سطح جهانی برای تحلیل منطقه‌ای سیلاب انجام دادند، از دو پارامتر میانگین بارندگی سالیانه و مساحت حوضه استفاده کردند.

در بررسی‌های انجام شده برای تعیین مناطق همگن حوزه‌های آبخیز، پارامترهای فیزیوگرافی استفاده شده شامل تراکم زهکشی، مساحت حوضه، ارتفاع حوضه، طول و عرض جغرافیایی، شیب رودخانه،

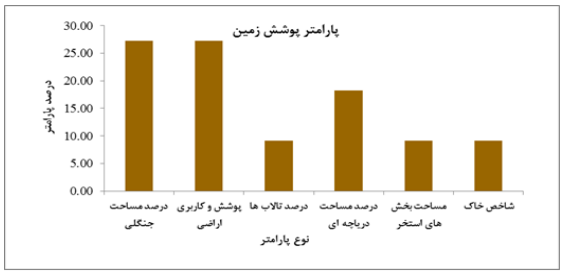
شیب شاخه اصلی، مرکز ثقل حوضه، محیط و شکل حوضه، شیب متوسط وزنی و طول آبراهه اصلی می‌باشد که در این بین مساحت حوضه (۳۰/۳۳ درصد) و ارتفاع حوضه (۱۸/۶۰ درصد) بیشترین کاربرد را داشته‌اند (شکل ۹). عوامل اقلیمی استفاده شده شامل متوسط بارندگی سالیانه، بارش تداوم ۱۲ ساعته و شدت بارش طرح است که میانگین بارندگی سالیانه با ۷۳/۳۳ درصد، بیشترین کاربرد را داشته است (شکل ۱۰). پارامترهای هیدرولوژیکی استفاده شده شامل دبی بیشینه لحظه‌ای، میانگین سیلاب سالیانه و ضریب رواناب می‌باشد که بیشترین درصد کاربرد مربوط به دبی بیشینه لحظه‌ای (۵۰ درصد) است (شکل ۱۱). همچنین، پارامترهای پوشش سطحی استفاده شده شامل درصد سازندهای نفوذپذیر، درصد اراضی جنگلی و کاربری و پوشش زمین می‌باشد که در این بین درصد مساحت جنگلی (۶۶/۶۷ درصد) بیشترین کاربرد را داشته است (شکل ۱۲). پارامترهای هیدرواقلیمی شامل بارندگی متوسط سالیانه، بارش تداوم ۱۲ ساعته، شدت بارش طرح، دبی بیشینه لحظه‌ای، میانگین سیلاب سالیانه و ضریب رواناب می‌باشد که بیشترین درصد کاربرد مربوط به پارامتر متوسط بارندگی سالیانه حدود ۵۷/۸۹ درصد است (شکل ۱۳). به‌طور کلی، در همه مدل‌ها در منابع مطالعه شده بیشترین عامل مورد استفاده با ۶۶/۱۵ درصد مربوط به عوامل فیزیوگرافی است. همچنین، عوامل اقلیمی و هیدرولوژیکی به‌ترتیب ۲۳/۰۸ و ۶/۱۵ درصد استفاده شده‌اند و کمترین عامل کاربردی مربوط به پارامترهای پوشش سطح با ۴/۴۲ درصد می‌باشد (شکل ۱۴). بر اساس منابع علمی موجود در بخش همگنی، Ghiasi و همکاران (۲۰۰۴) مساحت را به‌عنوان مهمترین عامل در محاسبه بیان کرده است.



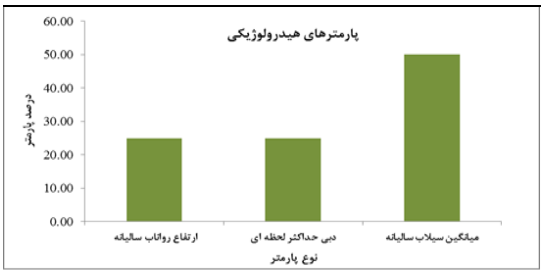
شکل ۳- درصد استفاده پارامترهای فیزیوگرافی در پژوهش‌های انجام شده (تحلیل منطقه‌ای سیلاب)



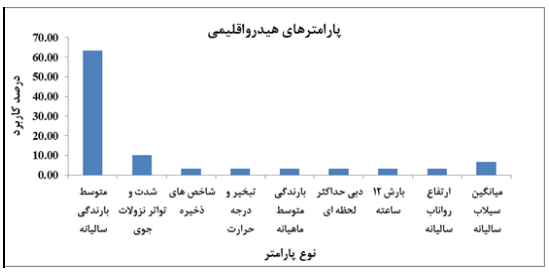
شکل ۴- درصد استفاده پارامترهای اقلیمی در پژوهش‌های انجام شده (تحلیل منطقه‌ای سیلاب)



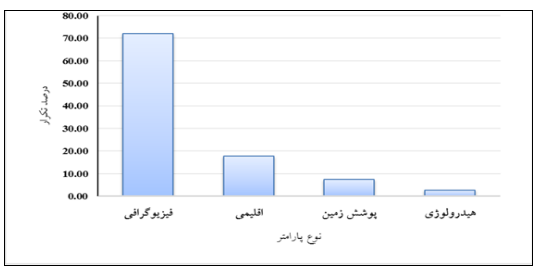
شکل ۵- درصد استفاده پارامترها (بر اساس پوشش سطحی) در پژوهش‌های انجام شده (تحلیل منطقه‌ای سیلاب)



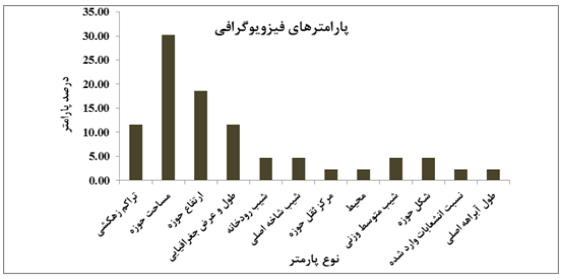
شکل ۶- درصد استفاده پارامترها (بر اساس هیدرولوژیکی) در پژوهش‌های انجام شده (تحلیل منطقه‌ای سیلاب)



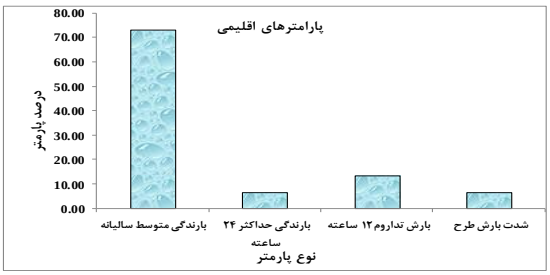
شکل ۷- درصد استفاده پارامترها (بر اساس هیدرواقلیمی) در پژوهش‌های انجام شده (تحلیل منطقه‌ای سیلاب)



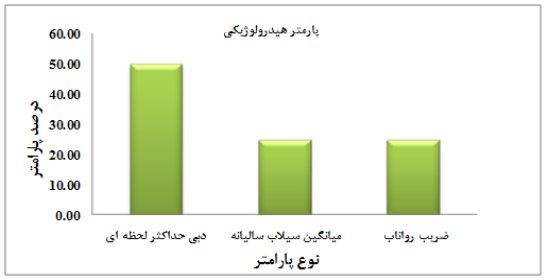
شکل ۸- درصد استفاده پارامترها (بر اساس نوع) در پژوهش‌های انجام شده در همه مدل‌ها (تحلیل منطقه‌ای سیلاب)



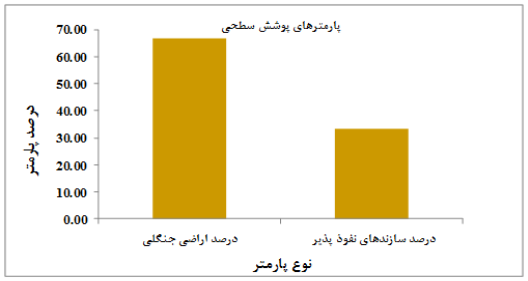
شکل ۹- درصد استفاده پارامترها (بر اساس فیزیوگرافی) در پژوهش‌های انجام شده (تحلیل همگنی حوزه آبخیز)



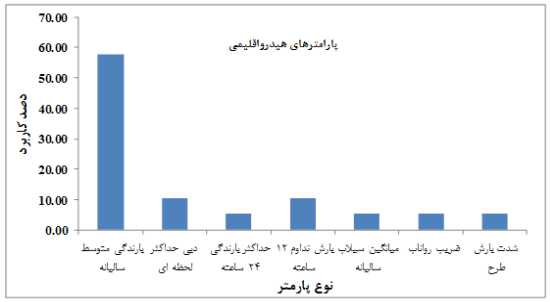
شکل ۱۰- درصد استفاده پارامترها (بر اساس اقلیمی) در پژوهش‌های انجام شده (تحلیل همگنی حوزه آبخیز)



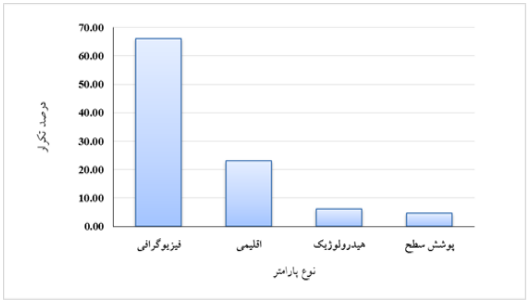
شکل ۱۱- درصد استفاده پارامترها (بر اساس هیدرولوژیکی) در پژوهش‌های انجام شده (تحلیل همگنی حوزه آبخیز)



شکل ۱۲- درصد استفاده پارامترها (بر اساس پوشش سطحی) در پژوهش‌های انجام شده (تحلیل همگنی حوضه)



شکل ۱۳- درصد استفاده پارامترها (بر اساس پارامتر هیدوراقلیمی) در پژوهش‌های انجام شده (تحلیل همگنی حوضه)



شکل ۱۴- درصد استفاده پارامترها (بر اساس نوع پارامتر) در پژوهش‌های انجام شده (همگنی حوزه‌های آبخیز)

نتیجه‌گیری

جمع‌بندی بررسی نتایج منابع علمی مرتبط با روش‌های تعیین همگنی، بیانگر آن است که روش تحلیل خوشه‌ای با وجود ویژگی‌هایی از جمله قابلیت استفاده از تحلیل عاملی برای انتخاب مهمترین عوامل موثر، سادگی امکان لحاظ کردن عوامل متنوع، استقلال پارامترهای موثر، دقت در تفکیک کامل گروه‌های همگن و مزیت استفاده از توابع تشخیص، مناسب‌ترین روش می‌باشد.

در مورد روش‌های تحلیل فراوانی ناحیه‌ای سیلاب، قابل ذکر است که از بین روش‌های متعدد تحلیل منطقه‌ای سیلاب، روش رگرسیون چند متغیره به‌ویژه زمانی که روش تعیین همگنی حوزه‌های آبخیز دقت لازم را داشته باشد، به‌دلیل سادگی، دقت و قابلیت استفاده از عوامل مختلف، می‌تواند به‌عنوان روشی توانمند و مناسب در برآورد مقادیر سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف نقش خود را ایفا کند. در تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب در شرایطی که طول دوره آماری کم و داده‌ها دارای اریب باشند، روش گشتاورهای خطی با توجه به قابلیت تخمین پارامترهای توزیع و تعیین مناسب‌ترین توزیع، کارایی خوبی دارد.

بررسی کارایی و تحلیل نتایج مربوط به روش مدل‌های سامانه‌های هوشمند نظیر منطق فازی و

شبکه عصبی مصنوعی (ANNS) نشان‌دهنده قابلیت بالای این روش‌ها در ایجاد برقراری روابط غیرخطی بین متغیرهای ورودی چندگانه می‌باشد. البته، در این روش‌ها فرایند مدل‌سازی بدون نیاز به برقراری و ارائه رابطه‌ای فیزیکی بین عوامل موثر با متغیر وابسته دنبال می‌شود. به‌نحوی‌که انتخاب بهترین ساختار شبکه‌های عصبی قالب مشخصی نداشته، با سعی و خطا انجام می‌گیرد. از این جنبه، در انتخاب پارامترها و مدل بهینه در شبکه‌های عصبی، قضاوت شخصی و تجربه اهمیت دارد. هر چند توانایی پیش‌بینی و بازسازی داده‌های تاریخی از جمله قابلیت‌های روش‌های شبکه عصبی مصنوعی محسوب می‌شود.

از جنبه عوامل مهم و متعدد دخیل در روابط تحلیل منطقه‌ای سیلاب و نتایج مرتبط، بررسی‌ها به‌طور کلی نشان داد که از بین عوامل مختلف، عوامل فیزیوگرافی با بیشترین درصد مورد استفاده و بعد از آن عوامل اقلیمی، پارامترهای پوشش زمینی و هیدرولوژیکی به‌ترتیب در اولویت‌های دوم تا چهارم قرار دارند. از جنبه نوع عوامل در میان پارامترهای فیزیوگرافی عامل مساحت حوضه بیشترین درصد مشارکت و در بین عوامل اقلیمی بیشترین درصد کاربرد مربوط به عامل متوسط بارندگی سالیانه به‌دست آمد. به‌طور کلی، در بررسی نتایج پژوهش‌های موجود، این‌که صرفاً کدام روش از برتری و کارایی قابل توجه و معنی‌داری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار می‌باشد، قابل استنتاج نیست. این امر، به‌دلایل متعددی از جمله عدم شرایط یکسان و قابل مقایسه نبودن در استفاده از داده‌ها با ویژگی‌های یکسان، تنوع و تفاوت در مناطق مورد پژوهش، تفاوت در ماهیت و فرضیات حاکم و نیز وجود نقاط ضعف یا قوت متفاوت در هر روش و غیره می‌باشد.

منابع مورد استفاده

1. Abbassizade, M. 2003. Regional flood analysis using hybrid method in Southern Alborz . MSc Thesis, Tehran University, 107 pages (in Persian).
2. Afzali, A. 2007. Regional of modeling synthetic unit hydrograph components with physiographic parameters of watershed. MSc thesis, Tarbiat Modarres University, 107 pages (in Persian).
3. Ahani, A. and S.S. Mousavi-Nadoshani. 2015. Regionalization of watersheds by combining of self-organizing feature maps and fuzzy C-Means algorithm. Journal of Watershed Engineering and Management, 7(1): 27-41 (in Persian).
4. Ataei, H. and M. Shiran. 2011. Identifying homogeneous hydrological basins based on effective geomorphologic variants on flood by cluster analysis. Journal of Geography and Environmental Planning, 42(2): 79-98 (in Persian).
5. Ata'ii, H. and S. Alijani-Alijanvand. 2012. Flood statistical modeling using physiographic properties in the basin. Journal of Geographical Data (SEPEHR), 21(82): 57-63 (in Persian).
6. Benson, M.A. 1968. Uniform flood-frequency estimating methods for federal agencies. Water Resources Research, 4(5): 891-908.
7. Biyabanaki, M. and S.S. Eslamiyan. 2005. Using cluster method in the determination of hydrologic homogeneous and evaluation by discriminate analysis and Andrew curves in Karkheh Catchment. Journal of Agriculture, 2: 13-26 (in Persian).
8. Burn, D.H. and N.K. Goel. 2000. The formation of groups for regional flood frequency analysis. Hydrological Sciences Journal, 45(1): 97–112.
9. Chavoshi-Brijeni, S. and S. Eslamiyan. 1999. Regional analysis of floods in arid regions by hybrid method. Water Commission Bulletin, 20: 44-52 (in Persian).
10. Choi, C., J. Ji, M. Yu, T. Lee, M. Kang and J. Yi. 2011. Urban flood forecasting using a neuro-fuzzy technique. Urban Water, 122: 249-259.
11. Dastoorani, M., M. Hayatzadeh, A. Fathzadeh and M. Hakimzadeh. 2014. Review the efficiency of empirical relations on estimating the peak flow rate of flood in arid areas of central Iran. Geography and Development Iranian Journal, 12(36): 145-160 (in Persian).
12. Davodirad, A.A. 1999. Investigating the relationship between morphometric factors and flood discharges in central watersheds of Iran. MSc Thesis, Tehran University, 155 pages (in Persian).
13. Eslami, A.R. and A.R. Telvari. 2005. Effect of homogeneity of the catchments on the accuracy of regional flood relations. Journal of Watershed Engineering and Management, 3(1): 21-31 (in Persian).
14. Eslami, A., R. Ghaforiyan, A.A. Hashemi and B. Ghermezcheshme. 2012. Investigation of regional

flood analysis and relationships of flood flows with watershed characteristics (Region Five). Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 107 pages Registration (in Persian).
15. Eslamian, S. and S. Chavoshi Borujeni. 1999. Investigation of hydrological similarity of central watersheds of Iran in regional flood frequency analysis. Journal of Agricultural Science, 23(2): 1-30 (in Persian).
16. Eslamian, S. and S. Chavoshi Borujeni. 2004. Regional flood frequency analysis using L-Moments in central basins of Iran. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science, 7: 1-17 (in Persian).
17. Farsadnia, F. and A. Moghaddamnia. 2014. Regional flood frequency analysis by self-organizing feature maps and fuzzy clustering approach. Journal of Iran-Water Resources Research, 9(3): 24-36 (in Persian).
18. Ghiasi, N. 2002. The comparison of some geomorphological characteristics of watershed with the view of their effects on maximum annual floods with various return periods. Researh Final report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 108 pages (in Persian).
19. Ghiasi, N., M. Arabkhedri and A. Ghafari. 2004. Survey on the effect of some morphometric characteristics of basins on peak discharge with different return periods, a case study north Albors Basins. Pajouhesh and Sazandegi, 62: 2-10 (in Persian).
20. Hosking, J.R.M. and J.R. Wallis. 1993. Some statistics useful in regional frequency analysis. Water Resources Research, 29(2): 271–281.
21. Hosking, J.R.M. and J.R. Wallis. 1997. Regional frequency analysis an approach based on L-Moments. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 125 pages.
22. Kazemi, R. and J. Porhemmat. 2018. Investigating the effect of hierarchical clustering methods on accurately modeling of runoff coefficient in Karkheh Basin. Journal of Watershed Engineering and Management, 10(1): 81-94 (in Persian).
23. Khosravi, M., M. Mohseni Saravi, M. Vafakhah and G. Fathi. 2011. Determination of the best hydrometric clustering method for regional flood analysis in west catchments of country. Journal of Watershed Management Science and Engineering, 4(13): 15-20 (in Persian).
24. Kjeldsen, T.R., J.C. Smithers and R.E. Schulze. 2002. Regional flood frequency analysis in the KwaZulu-Natal Province, South Africa, using the index-flood method. Journal of Hydrology, 255(1-4): 194-211.
25. Komi, K., A. Barnabas, B. Diekkrüger and F.C.C. Hountondji. 2016. Regional flood frequency analysis in the Volta River Basin, West Africa. Hydrology, 3(5): 1-5.
26. Lilienthal, J., R. Fried and A. Schumann. 2016. Homogeneity testing for skewed and cross-correlated data in regional flood frequency analysis. Discussion Papers, SFB, 823: 1-24.
27. Mahdavi, M. 2005. Applied hydrology. Tehran University, 437 pages.
28. Maidment, D.R. 1993. Handbook of hydrology. McGraw-Hill Professional Publication, New York, 1424 pages.
29. Malekiyan, A., S. Hasanpor and H. Faraji-Sabokbar. 2013. Application and comparing of gray cluster analysis and hierarchical analysis in locating suitable areas for flood spreading, case study: Garebayegan Catchment. Journal of Watershed Management Science and Engineering, 7(20): 35-46 (in Persian).
30. Mohseni Saravi, M., H. Rohani, A. Telvari and G. Zehtabiyan. 2003. Flood frequency analysis using hybrid method in Khorasan Province, Iran. Iranian Journal of Natural Resource, 56(3): 165-175 (in Persian).
31. Mosavi, H. and A. Sepaskhah .1989. Estimation of maximum daily flow in ungauged basins located in Fars Province. Proceedings of the First Hydrological Conference, Tehran University, Iran.
32. Parajka, J., R. Merz and G. Blöschl. 2005. A comparison of regionalization methods for catchment model parameters. Hydrology and Earth System Sciences, 9(3): 157–171.
33. Rasolzade, A., E. Azartaj and P. Farzi. 2015. Derivation and investigation of regional flood analysis models as a function of return period, a case study: Ardabil Province. Journal of Water and Soil Conservation, 22(4): 261-268 (in Persian).
34. Rohani, H. 2001. Regional flood frequency analysis using Hybrid Method in arid and semi-arid zones, a case study: Khorasan Province. MSc Thesis, Tehran University, 152 pages (in Persian).
35. Saghafiyan, B., A.R. Eslami and N. Ghiasi. 2006. Presentation of flood discharge profile extraction method of drainage network using generalized regional relationships in GIS. Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 1165 pages (in Persian).
36. Saghafiyan, B., B. Ghermezcheshmeh, M. Bagheri and K. Kasiri. 2015. Investigation of applicability of neural networks in regional flood analysis in southwest of Iran. Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 125 pages (in Persian).

37. Seckin, N., T. Haktanir and R. Yurtal. 2011. Flood frequency analysis of Turkey using L-Moments method. Hydrological Processes, 25(22): 3499–3505.
38. Sharifi-Alavije, R.H. and Sh. Eftekharzade. 1995. Regional flood analysis in the northern watersheds of Tehran. Journal of Water Civil Engineering, 2: 1-70 (in Persian).
39. Sheikh, Z., A.H. Dehvari, A. Pahlavanravi and F. Farsadnia.2015. Comparison physiographical space-based interpolation and linear moments methods for regional flood frequency analysis in Mazandaran Province. Journal of Water and Soil Conservation, 22(1): 1-24 (in Persian).
40. Shu, C. and T.B.M.J. Ouarda. 2007. Flood frequency analysis at ungauged sites using artificial neural networks in canonical correlation analysis physiographic space. Journal of Water Resources Research, 43(7): 1-12.
41. Smith, A., C. Sampson and P. Bates. 2015. Regional flood frequency analysis at the global scale. Journal of Water Resources Research, 51(1): 539–553.
42. Stamy, T.C. and G.W. Hess. 1993. Techniques for estimating magnitude and frequency of floods in rural basins in Georgia. U.S.G.S, Water Resources Investigations Report, 23: 93-4016.
43. Telvari, A. and A.R. Islami. 2002. Regional flood frequency in north basins of Iran. Proceedings of International Conference on Flood Estimation, March 6-8, Berne, Switzerland, P: 717-726.
44. Telvari, A. and M. Samiee. 2011. Homogeneous watershed using statistical analysis and efficient factor on flood in Fars Province. Watershed Management Research, 85: 1-10.