

تحلیل منطقه‌ای فراوانی سیلاب با استفاده از روش

رگرسیون چندمتغیره

(مطالعه موردی: ایستگاه‌های آب‌سنجی استان قزوین)

- ❖ جمال مصفايي*: دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشگاه یزد
- ❖ داود اخصري؛ استادیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه ملایر
- ❖ سعید رشوند؛ عضو هیئت‌علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین
- ❖ جواد عطایی؛ کارشناس شرکت آب منطقه‌ای استان قزوین

چکیده

تعیین دبی اوج سیل برای دوره‌های برگشت مختلف یکی از پارامترهای مهم طراحی سازه‌های کنترل سیل است. مشکل عمده برنامه‌ریزان در مقابله با سیل فقدان داده یا بی‌کفایتی داده‌های موجود است. تعمیم نتایج از مناطق دارای آمار به مناطق فاقد آمار یکی از مطمئن‌ترین راهکارهاست. هدف اصلی این تحقیق نیز تحلیل منطقه‌ای فراوانی سیلاب در استان قزوین با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره است. از ۲۳ ایستگاه هیدرومتری هشت ایستگاه، به دلیل آمار کوتاه‌مدت و وجود سد مخزنی در بالادست، حذف شد. تحلیل عاملی مشخص کرد که پنج عامل - محیط حوضه، قطر دایره معادل، زمان تمرکز، طول آبراهه اصلی و مساحت حوضه - مهم‌ترین عوامل مؤثر در پیک سیلاب‌اند. پانزده ایستگاه باقی‌مانده، با به‌کارگیری تحلیل خوشه‌ای، به دو منطقه همگن تقسیم و همگنی این نواحی با استفاده از آزمون‌های همگنی گشتاورهای خطی تأیید شد. بر اساس معیار نکویی برازش (Z^{dist}) گشتاورهای خطی، توزیع نرمال تعمیم‌یافته با آماره‌ای معادل ۰/۲۹ بهترین توزیع برای کل منطقه بود. اما، برای نواحی همگن ۱ و ۲ به ترتیب توزیع‌های لجستیک تعمیم‌یافته و پاره‌توی تعمیم‌یافته، با آماره‌هایی برابر با ۰/۰۹ و ۱/۵۶، دارای بهترین برازش بودند. پس از محاسبه مقادیر پارامترهای توزیع‌های منتخب، مقادیر دبی با دوره بازگشت‌های مختلف برای همه ایستگاه‌ها برآورد شد. سپس، در هر منطقه همگن و برای هر دوره بازگشت، روابط رگرسیونی بین دبی حداکثر سیل و عوامل مؤثر بر دبی اوج سیلاب تهیه شد؛ با این روابط، می‌توان دبی اوج سیل با دوره بازگشت‌های مختلف را در حوضه‌های فاقد آمار برآورد کرد.

واژگان کلیدی: استان قزوین، تحلیل خوشه‌ای، تحلیل منطقه‌ای سیلاب، رگرسیون چندمتغیره، گشتاور خطی.

۱. مقدمه

تعداد کم سال‌های آماری در بعضی از ایستگاه‌های آب‌سنجی باعث می‌شود که نتایج استفاده از توزیع‌های آماری در برآورد دبی اوج سالانه با دوره بازگشت‌های مختلف کارایی مناسبی نداشته باشد. ضمن اینکه فقدان ایستگاه آب‌سنجی در بسیاری از حوضه‌ها باعث می‌شود که کارشناسان برای تعیین دبی اوج سالانه از روش‌های تجربی مانند فولر، کریگر، استدلالی و شماره منحنی استفاده کنند. فرضیات زیاد و غیربومی بودن مدل‌های تجربی باعث می‌شود که این مدل‌ها نیز در تخمین حداکثر دبی سالانه حوضه‌ها خطای بسیاری داشته باشند. بنابراین، تعیین دبی اوج سالانه دقیق‌تر با استفاده از روش‌های جدید برای دوره بازگشت‌های مختلف تقریباً در همه حوضه‌های استان قزوین ضروری است. هاسکینگ و والیس، با گسترش روش گشتاور وزنی احتمال، بیان کردند که آماره‌های گشتاور خطی رهیافتی جدید در تحلیل تناوب سیل حوضه‌های آبخیزند؛ و اخیراً از این رهیافت در بسیاری از پروژه‌های تحقیقاتی استفاده می‌شود و نتایج بسیار خوبی داشته است. ملکی‌نژاد با استفاده از دیاگرام گشتاورهای خطی به تخمین پارامترهای توزیع و انتخاب بهترین توزیع منطقه‌ای در شماری از حوضه‌های آبریز ایران مرکزی پرداخت و نتیجه گرفت که توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته بهترین برآزش را با منطقه مورد نظر دارد [۷]. مدرس و سلطانی در تحلیل فراوانی سیل حوضه کرخه، با استفاده از روش گشتاورهای خطی، نشان دادند که سری‌های حداکثر سیل سالانه مشاهده‌شده

در ۱۱ ایستگاه حوضه کرخه برآزش خوبی با توزیع لوگ‌نرمال سه‌پارامتری دارند [۹]. رهنما و رستمی، با استفاده از روش گشتاور خطی در تحلیل فراوانی سری‌های حداکثر جریان حوضه هلیل‌رود، دو منطقه همگن را شناسایی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که توزیع پاره‌توی تعمیم‌یافته برای منطقه همگن ۱ و توزیع‌های مقادیر حدی تعمیم‌یافته، پیرسون نوع سوم، لوگ‌نرمال، لجستیک تعمیم‌یافته و پاره‌توی تعمیم‌یافته برای منطقه همگن ۲ برآزش مناسبی دارند [۱۲]. ملکی‌نژاد و همکاران کارایی دو مدل رگرسیون چندمتغیره و شاخص سیل را با استفاده از گشتاورهای خطی مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که روش شاخص سیل از دقت بیشتری در برآورد دبی اوج سیلاب برای دوره بازگشت‌های مختلف برخوردار است [۸]. شامکوئیان و همکاران تحلیل منطقه‌ای سیلاب را برای حوضه‌های آبریز استان خراسان، با استفاده از روش گشتاورهای خطی و سیلاب نمایه، انجام دادند و توابع توزیع لوگ‌نرمال سه‌پارامتری، مقادیر حدی تعمیم‌یافته، پاره‌توی تعمیم‌یافته، لجستیک تعمیم‌یافته و پیرسون تیپ ۳ را برای نواحی همگن مختلف مناسب دانستند و نتیجه گرفتند که توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته برای همه نواحی همگن از دقت مناسبی برخوردار است [۱۳].

هدف از این تحقیق، شناخت مناطق همگن هیدرولوژیکی استان قزوین و تعیین مناسب‌ترین توزیع آماری و پارامترهای آن و، سرانجام، ارائه روابط رگرسیونی بین دبی حداکثر سیل و عوامل مؤثر بر دبی اوج سیلاب در هر منطقه همگن و برای هر

شاهروند) و جنوبی (حوضه شور) تقسیم کرد. حوضه شمالی حدود ۲۸ درصد از مساحت استان را در بر گرفته است و تقریباً ۷۰ درصد آب‌های جاری استان در این حوضه جریان دارند (شکل ۱).

روش تحقیق

عموماً تحلیل منطقه‌ای سیلاب شامل پنج مرحله است: تهیه داده‌های مشاهداتی، تعیین مناطق همگن، انتخاب یک توزیع تناوب منطقه‌ای، تخمین پارامترهای توزیع، برآورد سیل در مناطق بدون ایستگاه یا دارای آمار محدود. معمولاً عواملی از قبیل کوتاه‌بودن طول آمار و ناپیوستگی آمار باعث محدودیت در انتخاب ایستگاه‌ها می‌شود. ملاک انتخاب ایستگاه‌های مناسب در این تحقیق آمار جدید و طولانی‌مدت، نواقص آماری کم و فقدان سد مخزنی در بالادست بوده است.

گشتاورهای خطی

گشتاورهای خطی ترکیبات خطی گشتاورهای وزنی احتمال‌اند [۱]. این گشتاورها به داده‌های پرت حساس نیستند و برای نمونه‌های کوچک داده‌های مشاهداتی غیر اریب‌اند، بنابراین، کاربرد آنها برای تحلیل تناوب سیل مناسب است [۴]. گشتاورهای خطی، نسبت به گشتاورهای معمولی، می‌توانند دامنه گسترده‌تری از توابع توزیع را مشخص کنند. بنابراین، حساسیت بسیار کمتری نسبت به داده‌های پرت موجود در نمونه دارند [۵]. به عبارت دیگر، برآوردگرهای گشتاورهای معمولی (واریانس و ضریب چولگی) داده‌های مشاهداتی را به توان ۲ و ۳

دوره بازگشت است؛ با این روابط، می‌توان دبی اوج سیل با دوره بازگشت‌های مختلف را در حوضه‌های فاقد آمار با استفاده از ویژگی‌های حوضه آبخیز برآورد کرد.

۲. روش شناسی

منطقه مورد مطالعه

استان قزوین در حوزه مرکزی ایران با مساحتی معادل ۱۵۶۲۴ کیلومتر مربع بین طول ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و عرض ۳۵ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی قرار دارد. سلسله جبال البرز مرکزی و کوه‌های رامند و خرقان از سه جهت استان را فراگرفته و دشت گسترده‌ای را به وجود آورده‌اند که طول آن از شمال به جنوب حدود ۷۵ کیلومتر و از شرق به غرب حدود ۹۵ کیلومتر است. ساختار توپوگرافیکی متفاوت شرایط اقلیمی گوناگونی از قبیل آب و هوای سرد کوهستانی (ارتفاعات شمالی و جنوب غربی استان)، آب و هوای معتدل (کوهپایه‌ها و دامنه‌ها)، آب و هوای نسبتاً خشک تا نیمه‌خشک (نواحی مرکزی دشت قزوین و بوئین‌زهرا) و آب و هوای مرطوب گرمسیری (بخش‌هایی از تارم و دره شاهروند) را در استان به وجود آورده است. میانگین بارندگی استان حدود ۳۳۰ میلی‌متر در سال است. بررسی کلیموگرام نشان می‌دهد بارانی‌ترین ماه سال فروردین و خشک‌ترین ماه تیر است. روده‌های فصلی و دائمی متعددی، با توجه به شرایط آب و هوایی و وضعیت ناهمواری‌های استان، جریان دارد. در مجموع، پهنه استان را می‌توان به دو حوضه آبریز شمالی (حوضه

مهم‌ترین عوامل مؤثر بر سیلاب در استان قزوین تعیین شد. سپس، با استفاده از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر سیلاب در استان قزوین، حوضه‌ها با به‌کارگیری روش تحلیل خوشه‌ای^۱ و روش ادغام وارد^۲ همگن‌سازی شد. در مرحله بعد، همگنی این مناطق با استفاده از روش گشتاورهای خطی و آزمون‌های همگنی و ناهمگنی هاسکینگ^۳، که همگنی را بر اساس داده‌های اوج سالانه آزمایش می‌کند، بررسی شد.

الف) آزمون ناهمگنی: این آزمون با محاسبه

آماره D_i انجام می‌شود.

$$D_i = \frac{1}{n} (u_i - \bar{u})^T S^{-1} (u_i - \bar{u}) \quad (1)$$

که U_i تابع دربرگیرنده نسبت گشتاورهای خطی برای ایستگاه i (τ_3 و τ_4 به ترتیب ضریب چولگی خطی و ضریب کشیدگی خطی)، \bar{u} میانگین و S ماتریس کوواریانس نمونه است.

$$u_i = [lcvi, \tau_3, \tau_4]^T \quad (2)$$

طبق تعریف، اگر آماره D_i مربوط به یک ایستگاه بیش از سه باشد، آن ایستگاه ناهمگن با دیگر ایستگاه‌های منطقه در نظر گرفته می‌شود.

ب) آزمون همگنی: این آزمون خطی یک توزیع

چهار پارامتری کاپا را به سری داده‌های مشاهداتی منطقه برازش می‌دهد و با شبیه‌سازی عددی یک دسته پانصدتایی از داده‌های منطقه‌ای را تولید می‌کند. سپس، تغییرپذیری گشتاورهای خطی ناحیه واقعی را با گشتاورهای خطی سری شبیه‌سازی شده مقایسه

می‌رسانند؛ بدین ترتیب، وزن بیشتری به داده‌های پرت داده می‌شود؛ در حالی که برآوردهای گشتاورهای خطی توابع خطی از مقادیر نمونه مشاهداتی هستند، بنابراین، غیر اریب‌اند و به داده‌های پرت حساس نیستند [۱۴]. در این مطالعه از این روش برای آزمون مناطق همگن هیدرولوژیکی حاصل از تحلیل خوشه‌ای، تشخیص توزیع‌های آماری مناسب برای داده‌های نمونه مناطق همگن و تعیین پارامترهای توزیع‌های آماری منتخب استفاده شد.

تعیین مناطق همگن هیدرولوژیکی

در یک منطقه همگن هیدرولوژیکی، چنانچه چند ایستگاه آب‌سنجی آثار عوامل یکسان هیدرولوژیکی را ثبت کنند، ترکیبی از اطلاعات این چند ایستگاه نتایج قابل اعتمادتری نسبت به آمار طولانی مدت یک ایستگاه ارائه می‌دهد. محققان به مطالعه اهمیت مناطق همگن هیدرولوژیکی در تحلیل جریان و اثر آن در افزایش دقت برآورد پرداخته‌اند [۲، ۳، ۶].

در تحقیق حاضر، نخست خصوصیات فیزیوگرافی (زمان تمرکز، شیب و طول آبراهه اصلی، شیب متوسط حوضه، ارتفاع متوسط، اختلاف ارتفاع، قطر دایره معادل، مساحت، ضریب گراولوس و تراکم زهکشی) با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، خصوصیات اقلیمی (درجه حرارت و بارش متوسط) و خصوصیات هیدرولوژیکی (دبی اوج با دوره بازگشت دو سال) حوضه‌ها با استفاده از بانک اطلاعاتی سازمان آب منطقه‌ای استان قزوین محاسبه شد و پس از تحلیل عاملی بر روی آن‌ها

1. cluster analysis
2. ward linkage
3. hosking homogeneity & heterogeneity test

روش رگرسیون چندمتغیره

در روش رگرسیونی تحلیل منطقه‌ای سیلاب، هدف توسعه روابطی بین دبی با دوره بازگشت‌های مختلف به عنوان متغیر وابسته و ویژگی‌های حوضه بالادست به عنوان متغیر مستقل است. معمول‌ترین شکل روابط رگرسیونی بین دبی با دوره بازگشت‌های مختلف (Q_T) و مهم‌ترین عوامل مؤثر بر سیلاب (A, B, \dots) (M) دارای شکل توانی است [۱۱] که می‌تواند به صورت رابطه ۱ بیان شود. این شکل از رابطه رگرسیونی می‌تواند از رگرسیون خطی لگاریتم داده‌ها به دست آید.

$$Q_T = \alpha A^a B^b C^c M^m \quad (7)$$

که Q_T دبی با دوره بازگشت T سال، α ثابت رگرسیون، a, b, c, m ضرایب رگرسیون و A, B, C, M ویژگی‌های حوضه آبخیزند. تا کنون مطالعات فراوانی در زمینه تحلیل منطقه‌ای سیلاب با روش رگرسیون چندمتغیره انجام شده است [۸، ۱۰]. در این تحقیق، نخست در هر منطقه همگن دبی حداکثر لحظه‌ای برای دوره بازگشت‌های مختلف، با استفاده از توزیع آماری مناسب منطقه، برآورد شد. سپس، برای هر منطقه همگن، روابط رگرسیونی بین مهم‌ترین عوامل مؤثر بر سیلاب (متغیرهای مستقل) و دبی با دوره بازگشت‌های مختلف (متغیر وابسته) استخراج شد که در حوضه‌های فاقد آمار می‌توان با استفاده از این روابط دبی اوج سیلاب را برای هر دوره بازگشت تعیین کرد.

می‌کند. این آزمون با محاسبه سه آماره H_1 برای بررسی ضریب تغییرات خطی، H_2 برای ترکیبی از ضریب تغییرات خطی و ضریب چولگی خطی و H_3 برای ترکیبی از ضریب چولگی خطی و ضریب کشیدگی خطی انجام می‌شود.

$$H = (V_{obs} - \mu V) / \sigma V \quad (3)$$

رابطه ۳ فرم عمومی آماره H است؛ به طوری که μV و σV به ترتیب میانگین و انحراف معیار مقادیر شبیه‌سازی شده متغیر مورد نظر و پارامتر V_{obs} مقادیر محاسبه شده متغیر مورد نظر با استفاده از داده‌های منطقه‌ای است و مبتنی بر آماره V است که برای هر یک از آماره‌های H به صورت رابطه‌های ۴، ۵ و ۶ محاسبه می‌شود.

$$V_1 = \sum_{i=1}^N (n_i (Lcv_i - \bar{Lcv})^2) / \sum_{i=1}^N n_i \quad (4)$$

$$(5)$$

$$V_2 = \sum_{i=1}^N (n_i [(Lcv_i - \bar{Lcv})^2 + (\tau_{\tau_i} - \bar{\tau}_{\tau})^2]) / \sum_{i=1}^N n_i \quad (6)$$

$$(6)$$

$$V_3 = \sum_{i=1}^N (n_i [(\tau_{\tau_i} - \bar{\tau}_{\tau})^2 + (\tau_{\tau_i} - \bar{\tau}_{\tau})^2]) / \sum_{i=1}^N n_i$$

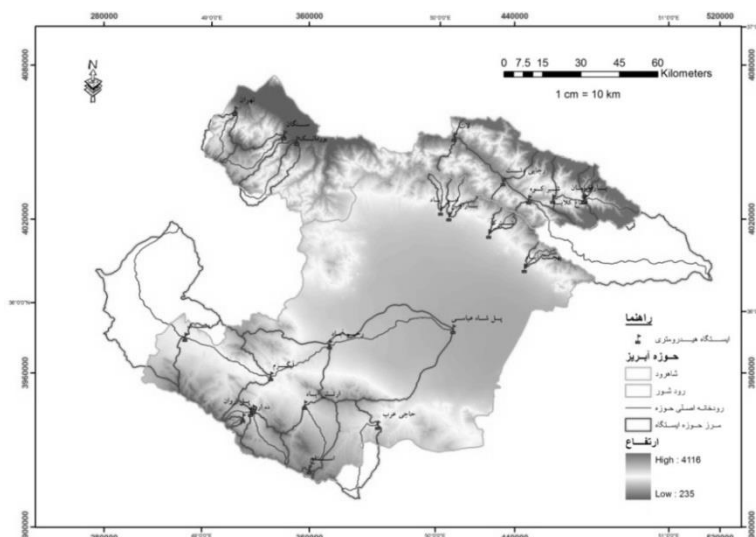
طبق تعریف، در صورتی که هر یک از پارامترهای H کمتر از یک باشد، می‌توان منطقه را همگن در نظر گرفت. چنانچه مقدار کوچک‌ترین پارامتر H بین اعداد یک و دو باشد، منطقه تا حدی همگن است و اگر مقدار این پارامترها بزرگ‌تر از عدد سه باشد، منطقه کاملاً ناهمگن است.

۳. نتایج

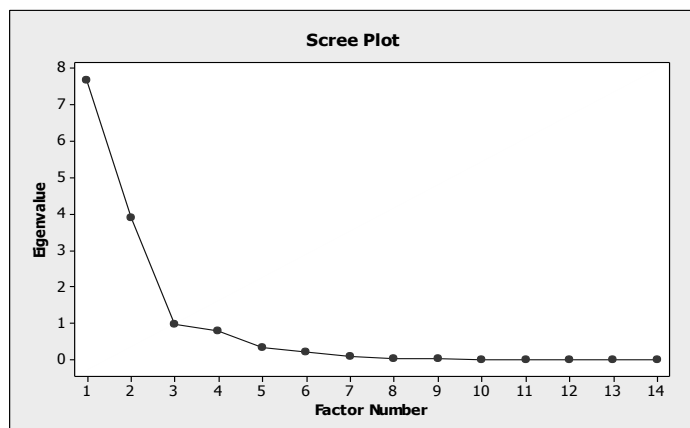
تعیین مناطق همگن بر اساس تحلیل عاملی و آنالیز خوشه‌ای

از کل ۲۳ ایستگاه آب‌سنجی در استان قزوین (شکل ۱)، که جدول ۱ مشخصات آن‌ها را نشان می‌دهد، ایستگاه‌های لات، رجایی‌دشت و شیرکوه به دلیل احداث سد طالقان در بالادست آن‌ها و نیز ایستگاه‌های نهران، سنگان، بورمانک، استلج یا رفیع به دلیل تعداد کم داده‌ها از تجزیه و تحلیل حذف و

تحلیل منطقه‌ای سیلاب با استفاده از ۱۵ ایستگاه آب‌سنجی باقی‌مانده انجام شد. نتایج تحلیل عاملی مشخص کرد که اطلاعات را با اختصاص دو محور می‌توان خلاصه کرد. دلیل برگزیدن دو محور بالا بودن ریشه پنهان ماتریس همبستگی بیش از یک است و این دو محور ۸۳/۱۵ درصد از تغییرات داده‌های اصلی را بیان می‌کنند (جدول ۲ و شکل ۲). سرانجام، پنج عامل محیطی، قطر دایره معادل، زمان تمرکز، طول آبراهه اصلی و مساحت مؤثرترین پارامترها شناخته شدند.



شکل ۱. موقعیت کلی ایستگاه‌های آب‌سنجی منتخب در منطقه مورد مطالعه



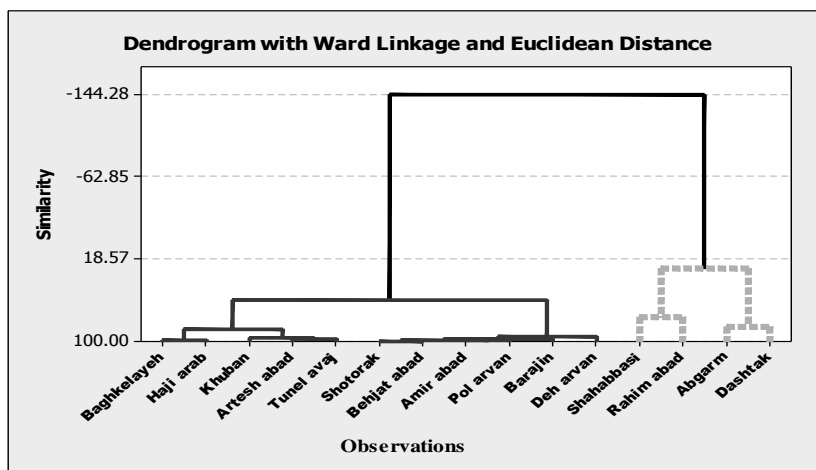
شکل ۲. نمودار اسکری گراف برای تعیین تعداد عامل‌ها

جدول ۱. ویژگی‌های ایستگاه‌های آبسنجی استان قزوین

دبی متوسط سالانه m^3/s	درجه حرارت متوسط سالانه $^{\circ}C$	میانگین بارش سالانه mm	تراکم زهکشی km^2	شیب متوسط آبراهه اصلی %	طول شیب آبراهه اصلی m	شیب متوسط حوضه %	اختلاف ارتفاع حوضه m	زمان تمرکز کریج hr	ضریب گرابوس	قطر دایره معادل km	محیط m	مساحت km^2	رودخانه	نام ایستگاه	ردیف
8.72	7.8	667	7.6	6.0	42.6	46.6	2900	3.36	1.37	28.0	121061	615.25	الموت رود	باغ کلابه	1
12.04	7.0	697		13.3	17.7	53.7	2560	1.28	1.34	9.0	38234	63.60	اتان رود	یا رفیع	2
4.70	5.2	719	7.5	8.1	28.0	49.7	2616	2.15	1.31	17.7	73293	245.57	الموت رود	خوبان	3
0.25	11.9	436	7.5	7.0	15.5	24.2	1140	1.49	1.39	8.7	38453	59.92	شترک	شترک	4
0.23	12.0	418	8.2	6.3	18.9	30.5	1260	1.81	1.52	8.1	38961	51.59	بهبه رود	بهجت آباد	5
0.45	11.9	430	7.8	6.2	19.9	22.6	1240	1.93	1.42	11.6	52440	106.48	باراجین	باراجین	6
0.33	11.9	401	7.1	4.7	18.5	23.3	1030	1.91	1.52	9.3	44440	67.25	امیرآباد شور	امیرآباد شور	7
0.79	9.0	372	6.9	2.2	40.0	13.9	977	4.75	1.28	23.6	95157	436.03	کلنچین	ارتنش آباد	8
6.41	7.1	602		2.5	100.5	37	3277	8.64	1.68	41.1	219281	1327.94	طالقان رود	شیرکوه	9
19.51	8.0	601		2.4	114.0	35.9	3397	9.85	1.46	53.9	249667	2278.90	شاهرود	رجایی مشت	10
15.41	8.9	569		2.0	143.7	33.6	3597	12.59	1.61	62.2	317132	3040.36	شاهرود	لات دوشاب	11
0.71	10.8	336	5.3	0.6	228.9	10.6	1714	28.68	1.78	83.1	467376	5428.70	خررود	پل شاه عباسی	12
2.79	9.7	378	5.1	0.8	120.6	10.8	1339	15.04	1.54	55.9	272593	2455.49	خررود	آبگرم	13
0.67	9.4	311	8.3	2.7	41.6	10.2	1275	4.49	1.48	27.0	126531	571.40	حاجی عرب	حاجی عرب	14
0.39	6.0	415		7.6	4.7	20.2	371	0.58	1.25	4.0	15921	12.78	کلنچین	استاج	15
0.16	7.9	466	6.4	9.4	9.7	35	972	0.93	1.25	5.4	21416	22.90	اروان	ده اروان	16
0.51	9.0	423	6.7	6.8	14.8	23.9	1068	1.45	1.20	11.2	42548	98.72	اروان	پل اروان	17
0.99	7.6	436	7.0	2.5	33.6	19.3	1136	3.66	1.42	20.0	90033	314.19	آوج چای	توتل آوج چای	18
0.55	9.5	386	4.3	1.1	76.2	8.1	1069	9.65	1.56	45.0	222682	1590.91	خررود	دشتک	19
4.20	9.8	364	5.8	0.7	157.7	12.5	1508	19.59	1.62	72.4	371405	4112.24	خررود	رحیم آباد	20
1.06	11.2	420		5.2	44.4	36.2	2414	3.78	1.37	19.0	82373	283.61	ارکن چای	بوزمانک	21
0.38	9.9	450		5.7	38.0	33.1	2330	3.20	1.57	16.0	79629	200.92	سنگان	سنگان	22
0.44	9.2	460		7.3	27.8	37	2102	2.32	1.34	15.3	65020	183.54	آفتاب کش	نهران	23
۰.۸۴۹	-۰.۶۶۳	۰.۷۹	-۰.۷۱۳	-۰.۸۷۲	۰.۹۵۷	-۰.۷۰۴	۰.۹۴۸	۰.۹۶۵	۰.۸۳۷	۰.۹۶۷	۰.۸۷۲	۰.۹۵۲	مقدار حداکثر بار عاملی		

باغ کلاویه، حاجی عرب، خوبان، ارتش آباد، تونل آوج، شترک، بهجت آباد، امیرآباد، پل اروان، باراجین، ده اروان، و ناحیه همگن ۲ شامل ایستگاه‌های دشتک، آبگرم، رحیم آباد و پل شاه عباسی است.

با استفاده از نتایج تجزیه و تحلیل عاملی، آنالیز خوشه‌ای به روش ادغام وارد برای تعیین نواحی همگن هیدرولوژیکی در منطقه مورد مطالعه انجام شد و منطقه مورد مطالعه به دو ناحیه همگن تقسیم شد (شکل ۳). ناحیه همگن ۱ شامل ایستگاه‌های



شکل ۳. نمودار تجزیه خوشه‌ای

جدول ۲. مقادیر ریشه پنهان ماتریس همبستگی

محور	مقدار ویژه	واریانس	درصد واریانس تجمعی
۱	۷,۶۶۰	۵۱,۰۹	۵۱,۰۹
۲	۳,۸۹۰	۳۲,۰۶	۸۳,۱۵
۳	۰,۹۶۶	۶,۴۷	۸۹,۶۲

و یک حد پایین (X_l) با توجه به آماره گرویز-بک (K_N) و تعداد و میانگین داده‌ها تعیین می‌شود و داده‌هایی که بزرگ‌تر از حد بالا یا کوچک‌تر از حد پایین باشند داده‌های پرت در نظر گرفته می‌شوند. سپس، گشتاورهای خطی و نسبت آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار R و به‌کارگیری پکیج گشتاورهای خطی

همگنی مناطق

برای اطمینان از فقدان داده پرت در سری داده‌های دبی اوج سیلاب ایستگاه‌ها از آزمون گرویز-بک^۱ استفاده شد. در این آزمون نخست یک حد بالا (X_h)

1. grubbs-beck test

از ضریب تغییرات خطی و ضریب چولگی خطی و آماره H_3 برای ترکیبی از ضریب چولگی خطی و ضریب کشیدگی خطی محاسبه شد (جدول ۴). با توجه به جدول ۴، پارامترهای H_1 ، H_2 و H_3 در کل منطقه بزرگ‌تر از سه است، که در مجموع نشان‌دهنده غیرهمگن بودن کل منطقه است. اما، هنگامی که ایستگاه‌های کل استان را به دو ناحیه همگن تقسیم می‌کنیم مقدار این آماره‌ها کاهش می‌یابد و حکایت از همگنی این دو ناحیه دارد.

محاسبه شد و آماره غیرهمگنی (D_i)، که هاسکینگ و والیس آن را برای تشخیص ایستگاه‌های ناسازگار پیشنهاد کرده‌اند، برای کلیه ایستگاه‌های مورد بررسی به دست آمد (جدول ۳). بنا بر تعریف، ایستگاه‌هایی که دارای آماره غیرهمگنی بیش از سه باشند ایستگاه پرت شناخته می‌شوند و از مجموعه ایستگاه‌های مطالعاتی کنار گذاشته می‌شوند. بدین ترتیب، هیچ یک از ایستگاه‌ها ایستگاه ناسازگار شناخته نشد. برای آزمون همگنی هاسکینگ، سه آماره H_1 برای بررسی ضریب تغییرات خطی، H_2 برای ترکیبی

جدول ۳. مقادیر نسبت گشتاورهای خطی و آماره ناهمگنی ایستگاه‌های آب‌سنجی منطقه مورد مطالعه

D_i	کشیدگی خطی (T_4)	چولگی خطی (T_3)	ضریب تغییرات خطی (T)	میانگین خطی (λ_1)	تعداد سال‌های آماری	نام ایستگاه
0.99	0.09	0.30	0.51	82.46	44	آبگرم
1.03	-0.01	0.25	0.58	34.71	37	پل شاه‌عباسی
0.86	-0.20	0.17	0.55	54.28	9	دشتک
0.93	0.12	0.27	0.46	110.47	43	رحیم‌آباد
0.53	0.40	0.53	0.60	29.79	43	ارتش‌آباد
0.2	0.18	0.33	0.45	24.55	27	امیرآباد
0.32	0.23	0.43	0.47	24.48	43	باراجین
2.22	0.04	0.03	0.30	103.71	25	باغ‌کلایه
0.2	0.29	0.49	0.52	19.10	42	بهجت‌آباد
0.44	0.32	0.56	0.57	24.57	43	پل اروان
0.79	0.44	0.69	0.66	46.07	10	تونل آوج
2.15	0.63	0.72	0.69	62.04	44	حاجی عرب
2.75	0.16	0.26	0.29	51.90	10	خوبان
1.14	0.09	0.30	0.45	7.01	22	ده اروان
0.28	0.30	0.44	0.54	16.10	26	شترک

جدول ۴. معیار همگنی برای کل استان و مناطق همگن

آماره همگنی H ₃	آماره همگنی H ₂	آماره همگنی H ₁	
۳,۹۴	۳,۸۷	۳,۵۴	کل منطقه
۱,۱۹	۱,۸۰	۲,۴۵	منطقه همگن ۱
-۰,۰۲	-۰,۳۷	۰,۵۸	منطقه همگن ۲

پاره‌توی تعمیم‌یافته دارای کمترین مقدار Z_{dist} بود و بهترین توزیع انتخاب شد.

پس از انتخاب بهترین توزیع برای هر منطقه، پارامترهای توزیع با استفاده از روش گشتاورهای خطی و به‌کارگیری برنامه رایانه‌ای R پکیج گشتاورهای خطی محاسبه شد (جدول ۶).

تعیین بهترین توزیع آماری

جدول ۵ معیار نکویی برازش توزیع‌های آماری مختلف را نشان می‌دهد. برای کل استان توزیع نرمال تعمیم‌یافته بهترین توزیع است. اما، به دلیل غیرهمگنی کل استان، نتایج قابل اعتمادی از آن حاصل نخواهد شد. در ناحیه همگن ۱ توزیع لجستیک تعمیم‌یافته و در ناحیه همگن ۲ توزیع

جدول ۵. معیارهای نکویی برازش Z_{dist} برای توزیع‌های آماری مختلف

پیرسون نوع سوم	پاره‌توی تعمیم‌یافته	نرمال تعمیم‌یافته	مقادیر حدی تعمیم‌یافته	لجستیک تعمیم‌یافته	
PE III ^۵	GPA ^۴	GNO ^۳	GEV ^۲	GLO ^۱	
-۱/۷۴	-۰/۶۱	۰/۲۹*	۱/۴۷	۲/۰۶	کل منطقه
-۲/۷۴	-۱/۴۵	-۱/۱۴	-۰/۲	۰/۰۹*	منطقه همگن ۱
۲/۴۶	۱/۵۶*	۲/۱۲	۴/۷۶	۳/۶۸	منطقه همگن ۲

* بهترین توزیع

جدول ۶. مقادیر پارامتر برای بهترین توزیع منتخب

مقادیر پارامتر توزیع			توزیع منتخب	
k	alpha	x _i		
۰/۸۶۸ -	۰/۶۷۶	۰/۶۴۳	GNO	کل منطقه
۰/۴۶۱ -	۰/۳۵۹	۰/۶۴۰	GLO	منطقه همگن ۱
۰/۱۵۱	۱/۲۸۲	۰/۱۱۳ -	GPA	منطقه همگن ۲

1. Generalized Logistic
2. Generalized Extreme Value
3. Generalized Normal
4. Generalized Pareto Distribution
5. Pearson Type III

روابط رگرسیون چندمتغیره

در هر منطقه همگن، مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های معین (Q_T) با استفاده از نرم‌افزار easy fit محاسبه شد و رابطه رگرسیونی بین مقادیر سیلاب و مهم‌ترین عوامل مؤثر بر سیلاب تعیین شد؛ رابطه به دست آمده به شکل رابطه ۸ است.

$$Q_T = \alpha P^p K r^{kr} D^d A^a \quad (8)$$

که Q_T دبی با دوره بازگشت T سال، α ثابت رگرسیون، a, d, kr, p ضرایب رگرسیون و A, D, Kr به ترتیب محیط حوضه (km)، قطر دایره معادل P (km)، زمان تمرکز کریپیج (hr) و مساحت حوضه (km^2) هستند. در هر منطقه همگن، این ضرایب با استفاده از تحلیل رگرسیون چندمتغیره برای دبی با دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه شد؛ جدول‌های ۷ و ۸ نتایج آن را نشان می‌دهد.

جدول ۷. ضرایب رگرسیون چندمتغیره در منطقه همگن ۱

T	α	p	kr
2	-198.17	144.8	-97.67
5	-414.40	302.8	-204.2
10	-622.05	454.6	-306.6
25	-1002.87	732.9	-494.3
50	-1411.01	1031.1	-695.5
100	-1968.64	1438.6	-970.3

جدول ۸. ضرایب رگرسیون چندمتغیره در منطقه همگن ۲

T	α	d	kr	p
2	1826	1838	-302	-1142
5	4296	4325	-710	-2688
10	5948	5990	-984	-3722
25	7883	7937	-1304	-4933
50	9177	9241	-1519	-5743
100	10414	-1711	-6472	10343

بحث و نتیجه گیری

نتایج تحلیل عاملی برای تعیین عوامل اصلی مشخص کرد که سیزده متغیر مستقل را می‌توان به پنج عامل اصلی خلاصه کرد. بر این اساس، پنج عامل محیط، قطر دایره معادل، زمان تمرکز، طول آبراهه اصلی و مساحت مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر دبی اوج سیلاب در استان قزوین‌اند که ملکی‌نژاد و همکاران

نیز عوامل مساحت حوضه و طول آبراهه اصلی را جزو مهم‌ترین عوامل مؤثر بر دبی اوج سیلاب در حوضه دریاچه نمک معرفی کردند [۸]. با مروری بر ساختار معمول‌ترین روابط تجربی تعیین دبی اوج سیلاب نظیر فولر، کریگر، استدلالی و دیکن مشاهده می‌شود که در بیشتر این روابط از متغیرهای مستقلی نظیر مساحت، محیط یا طول آبراهه اصلی استفاده

می‌کند که قبلاً نیز محققان بر اهمیت این موضوع تأکید کرده‌اند [۲، ۳، ۶].

معیار نکویی برآزش روش گشتاورهای خطی (Z_{dist}) مشخص کرد که برای کل استان توزیع نرمال تعمیم‌یافته بهترین توزیع است. اما، در ناحیه همگن ۱ توزیع لجستیک تعمیم‌یافته و در ناحیه همگن ۲ توزیع پاره‌توی تعمیم‌یافته توزیع‌های مناسب‌تری هستند؛ رهنما و رستمی و شامکوئیان و همکاران نیز به نتایج مشابهی درباره‌ی سازگاری توزیع پاره‌توی تعمیم‌یافته با دبی حداکثر سالانه دست یافته بودند [۱۲، ۱۳].

برای هر منطقه همگن ضرایب روابط رگرسیونی بین مقادیر سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف و مهم‌ترین عوامل مؤثر بر دبی اوج سیلاب تعیین شد. برای تعیین مقدار دبی با دوره بازگشت‌های مختلف در حوضه‌های فاقد آمار یا دارای آمار محدود به جای استفاده از روابط تجربی- که به دلیل فرضیات زیاد و غیربومی بودن همواره خطای بسیاری دارند- می‌توان از این روابط استفاده کرد.

به طور کلی، می‌توان نتیجه‌گرفت که در پژوهش‌های تحلیل منطقه‌ای سیلاب نخست باید مهم‌ترین عوامل مؤثر بر دبی پیک را شناسایی و در مرحله دوم مناطق همگن هیدرولوژیک را مشخص و در گام سوم از روش‌های مرسوم تحلیل منطقه‌ای نظیر رگرسیون چندمتغیره، سیل شاخص و هیبرید استفاده کرد. در غیر این صورت، منابع خطا افزایش می‌یابد و نتایج تحلیل منطقه‌ای سیلاب فاقد دقت لازم خواهد بود.

سپاسگزاری

این پژوهش با استفاده از اعتبارات شرکت آب منطقه‌ای استان قزوین انجام یافته است؛ بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

شده است که گویای اهمیت این عوامل در تعیین دبی اوج سیلاب است و تحقیق حاضر نیز مجدداً این موضوع را تأیید می‌کند. قطر دایره معادل نیز، که بیانگر شکل و میزان کشیدگی حوضه است، با تأثیر بر زمان تمرکز حوضه، می‌تواند تأثیر بسزایی در دبی پیک سیلاب داشته باشد.

اجرای تحلیل خوشه‌ای بر روی فاکتورهای مؤثر بر دبی اوج سیلاب ایستگاه‌های آب‌سنجی استان قزوین به ایجاد دو ناحیه همگن منجر شد. همه حوضه‌های بزرگ با دامنه مساحتی ۱۵۹۰/۹۱ تا ۵۴۲۸/۷ کیلومتر مربع در منطقه همگن ۲ و حوضه‌هایی با دامنه مساحتی ۲۲/۹ تا ۵۷۱/۴ کیلومتر مربع در منطقه همگن ۱ قرار گرفتند. به طور کلی، مساحت رابطه متقابلی با بسیاری از سایر ویژگی‌های حوضه نظیر محیط، طول آبراهه اصلی، شیب حوضه و شیب آبراهه اصلی دارد و نتایج تعیین مناطق همگن نشان می‌دهد که مساحت مهم‌ترین ویژگی در تعیین مناطق همگن استان قزوین است.

آزمون غیرهمگنی گشتاورهای خطی، که مبتنی بر دبی‌های حداکثر سالانه ایستگاه‌هاست، مشخص کرد که هیچ یک از ایستگاه‌های دو منطقه همگن ناسازگار با منطقه همگن خود نیستند. آزمون همگنی گشتاورهای خطی نیز مشخص کرد که مقادیر این آماره برای کل استان بزرگ‌تر از عدد سه است و کل استان به صورت یک منطقه غیرهمگن است، اما مقادیر آماره همگنی در دو منطقه حاصل از تحلیل خوشه‌ای حاکی از همگنی این مناطق است. غیرهمگن بودن حوضه‌های مورد مطالعه در این تحقیق به نوعی اهمیت همگن‌سازی هیدرولوژیکی را در مطالعات تحلیل منطقه‌ای فراوانی سیلاب بیان

References

- [1] Eslamian, S. and Chavoshi Borujeni, S. (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.
- [2] Greenwood, J.A., Landwehr, J.M., Matalas, N.C. and Wallis, J.R. (1979). Probability Weighted Moments: definition and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form, *Water Resources Research*, 15, 1049-1054.
- [3] Hosking, J.R.M. (1986). *The Theory of Probability Weighted Moments*, Research Report Rc12210, IBM Research, Yorktown Heights, New York.
- [4] Hosking, J.R.M. (1990). L-Moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics, *Royal Statistical Society B*, 52, 105-124.
- [5] Hosking, J.R.M. and Wallis, J.R. (1993). Some statistical useful in regional frequency analysis, *Water Resources Research*, 29, 271-281.
- [6] Lettenmaier, D.P., Wallis, J.R. and Wood, E.F. (1987). Effect of regional heterogeneity on flood frequency estimation, *Water Resources Research*, 23, 313-323.
- [7] Malekinezhad, H. (2007). Determination and evaluation of flood-probability relations using regression based techniques, *7th international seminar on river engineering*, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
- [8] Malekinezhad, H., Nachtnebel, H.P. and Klik, A. (2011). Comparing the index-flood and multiple-regression methods using L-moments, *Physics and Chemistry of the Earth*, 36, 54-60.
- [9] Modarres, R. and Soltani, S. (2007). Flood frequency analysis using L-moments, *7th international seminar on river engineering*, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
- [10] Payravand, V., Salajegheh, A., Mahdavi, M. and Zare Chahouki, M.A. (2010). Comparison of regional flood analysis methods in central Alborz region, *Journal of Range and Watershed Management*, 63, 131-147.
- [11] Pandey, G.R. and Nguyen, V.T.V. (1999). A comparative study of regression based methods in regional flood frequency analysis, *Journal of Hydrology*, 225, 92-101.
- [12] Rahnema, M. and Rostami, R. (2007). Halil-River Basin Regional Flood Frequency Analysis Based on L-moment Approach, *International Journal of Agricultural Research*, 2, 261-267.
- [13] Shamkoueyan, H., Ghahraman, B., Davary, K. and Sarmad, M. (2009). Flood frequency analysis using Linear moment and flood index method in Khorasan provinces, *Journal of Water and Soil*, 23, 31-43.
- [14] Wallis, J.R., Matalas, N.C. and Slack, J.R. (1974). Just a moment!, *Water Resources Research*, 10, 211-219.