

مقایسه روش‌های تحلیل منطقه‌ای برآورد دبی پیک سیل (مطالعه موردی: حوزه‌های اصفهان - سیرجان و دشت یزد - اردکان)

- ❖ **مژده محمدی خشویی***؛ دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد، ایران.
- ❖ **حسین ملکی نژاد**؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد، ایران.
- ❖ **محمد تقی دستورانی**؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

چکیده

کمبود ایستگاه‌های آب‌سنجی، کوتاهی دوره آماری و عدم دقت در برآوردهای ایستگاهی، مهم‌ترین مشکلات در برآورد تناوب سیل در منطقه مورد مطالعه است که استفاده از روش‌های منطقه‌ای را ناگزیر می‌سازد. روش تحلیل منطقه‌ای یک روش کارآمد برای برآورد دبی سیل در مناطق فاقد داده یا دارای آمار کوتاه مدت می‌باشد. این روش متکی به ویژگی‌های فیزیکی و اقلیمی حوزه‌های آبخیز بوده و از روابط آماری در بررسی داده‌های مشاهداتی جریان استفاده می‌کند. تحلیل منطقه‌ای سیلاب دارای روش‌های متعددی است که انتخاب هر کدام از این روش‌ها در هر منطقه، بستگی به شرایط اقلیمی منطقه، تعداد و نوع داده و همچنین دوره بازگشت مورد انتظار دارد. هدف از پژوهش حاضر، مقایسه کارایی چهار روش تحلیل منطقه‌ای هیبرید، گشتاور خطی، رگرسیون چندمتغیره و روش CCA در برآورد دبی پیک حوزه اصفهان - سیرجان و دشت یزد - اردکان است. به این منظور تعداد ۱۶ ایستگاه آب‌سنجی منطقه انتخاب و دبی حداکثر لحظه‌ای آن‌ها استخراج شد. از نتایج روش هیبرید و رگرسیون چندمتغیره که قبلاً در منطقه مطالعاتی و با همین منظور انجام شده بود نیز استفاده گردید و مقایسه چهار روش با یکدیگر از طریق دو آماره RRMSE و میانگین خطای مطلق (MAE) انجام یافت. نتایج نشان داد که روش CCA به نسبت سایر روش‌ها از مقادیر خطای کمتری برخوردار بوده و مناسب‌تر است. برتری روش CCA در تمام دوره برگشت‌ها قابل توجه می‌باشد و روش رگرسیون چندمتغیره در گزینه بعدی تحلیل منطقه‌ای قرار دارد.

کلید واژگان: هیبرید، گشتاورهای خطی، رگرسیون چندمتغیره، تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیل، روش CCA.

۱. مقدمه

مطالعه منابع آبی در هر منطقه یکی از ضروریات مهم در برنامه‌ریزی‌های توسعه اقتصادی و اجتماعی جوامع به شمار می‌رود. تحلیل فراوانی سیل معمولاً برای برآورد مقادیر سیل با دوره برگشت‌های مختلف در پروژه‌های کنترل سیل و طراحی سازه‌های مربوط به آن‌ها صورت می‌گیرد. در عمل، تحلیل فراوانی در حوزه‌های دارای آمار کافی با برازش چند تابع نظری به سری‌های حداکثر سالانه جریان انجام می‌شود. اما مشکل عمده، عدم وجود داده‌های جریان و کوتاهی طول دوره آماری در مناطق مورد مطالعه است. راه حل این مشکل تحلیل منطقه‌ای است. تحلیل منطقه‌ای سیل که به منظور تعمیم نتایج حاصل از تحلیل فراوانی نقطه‌ای به یک ناحیه مورد استفاده قرار می‌گیرند، معمولاً بر اساس شباهت عوامل مؤثر بر بروز سیل صورت می‌گیرد. در طول دو دهه اخیر تلاش‌های زیادی جهت تحلیل و توسعه روش‌های منطقه‌ای صورت گرفته است که متأسفانه در حال حاضر هیچ روشی به صورت جهانی مورد قبول واقع نشده است. به طور کلی از مهم‌ترین روش‌های تحلیل منطقه‌ای سیلاب می‌توان به روش رگرسیون چند متغیره [۱۳، ۱۴]، روش شبکه‌های مربعی [۱۶]، منطقه اثر [۵]، شاخص سیل [۱۲، ۱۱، ۲۷]، هیبرید [۱۴، ۱۵، ۲۱]، تحلیل مؤلفه‌های اصلی [۲۶] و روش همبستگی متعارف [۲۰، ۱۴] اشاره کرد. در میان روش‌های تحلیل منطقه‌ای، روش شاخص سیل جزء پیشگامان روش‌های منطقه‌ای به حساب می‌آید، این روش در سال ۱۹۶۰ توسط دالریمپل^۱ ارائه شد. در سال ۱۹۸۹، برای اولین بار روش همبستگی متعارف^۲ (CCA) توسط کاواداس^۳ جهت تخمین مقادیر ماکزیمم سالانه سیل در استان نیوفوندلند کانادا استفاده گردید. سپس روش CCA جهت تعیین مناطق همگن توسعه داده شد و از آن برای منطقه‌ای کردن جریان‌های سیل استفاده شد [۲، ۴]. با استفاده از این تکنیک دبی‌های پیک و حجم آن‌ها در بخش شمالی استان کبک کانادا به دست آمد [۲۰]. سپس از روش CCA برای پیش‌بینی

استفاده شد [۱۰] و اخیراً کاربرد این روش در پدیده‌های آل‌نینو است. برخلاف ویژگی‌های برجسته‌ای که این روش دارد ولی کمتر در هیدرولوژی و منابع آب به کار می‌رود [۱۶]. سپس روش گشتاورهای خطی^۴ توسط هاسکینگ^۵ در سال ۱۹۹۰، به صورت کنونی ارائه شد. مطالعات بسیاری در زمینه روش گشتاورهای خطی در دنیا انجام شده است [۲۲، ۳، ۲۳، ۹، ۷]. سپس در سال ۱۹۹۲، روش هیبرید برای اولین بار برای مطالعه روابط منطقه‌ای سیلاب در جنوب غربی ایالات متحده به کار گرفته شد. این روش برای غلبه بر مشکلات موجود در مناطق خشک از قبیل سال‌های خشک و کمبود آمار ارائه شده است. این روش ضمن استفاده از کلیه داده‌ها به دلیل برازش توزیع‌های آماری به داده‌های ترکیبی، دقت بیشتری دارد. هدف از پژوهش حاضر مقایسه عملکرد چهار روش تحلیل منطقه‌ای شامل روش‌های هیبرید، گشتاورهای خطی، رگرسیون چندمتغیره و همبستگی متعارف می‌باشد. از مطالعاتی که پیرامون عملکرد روش‌های تحلیل منطقه‌ای صورت گرفته تنها مطالعه GREHYS [۶]، اکثر روش‌های تحلیل منطقه‌ای را مورد بررسی قرار داده است. در ارتباط با مطالعات انجام گرفته در ایران می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. بررسی روش هیبرید و شاخص سیل در حوزه کرخه نشان داد، روش هیبرید نسبت به روش شاخص سیل در تمامی دوره‌برگشت‌ها دقت کمتری دارد و روش هیبرید تنها در حوزه‌های با مساحت کم و با دوره برگشت ۵۰ سال قابل بررسی است [۱۸]. نتایج حاصل از بررسی و مقایسه سه روش تحلیل منطقه‌ای هیبرید، شاخص سیل و رگرسیون چندمتغیره نشان داد که مدل هیبرید دارای بیشترین دقت در برآوردهای با دوره برگشت‌های کوتاه‌مدت است [۲۵]. در تحقیقی دیگر، روش منطقه‌ای رگرسیون چندمتغیره برای تخمین مقادیر چندک‌های سیلاب مناسب تشخیص

1-Dalerymple

2-Canonical Correlation Analysis(CCA)

3- Cavadias

4-Linear Moment

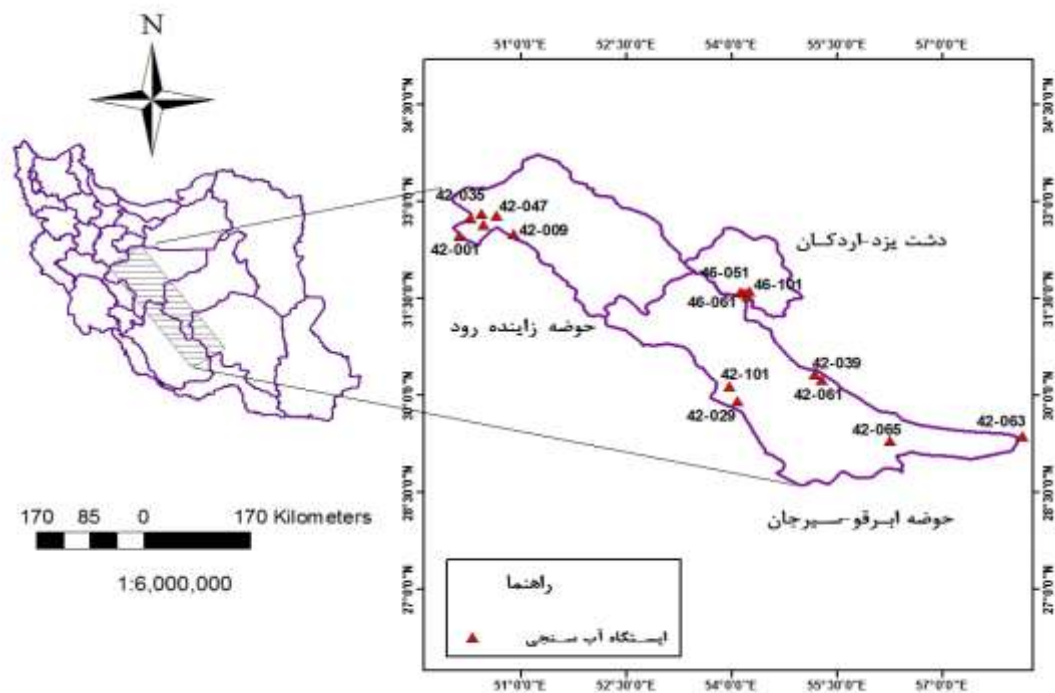
5-Hosking

روش CCA نیز به عنوان یکی از روش‌های تحلیل منطقه‌ای مورد نظر به صورت جامع‌تر نسبت به سایر روش‌ها بیان شده، چرا که این روش برخلاف ویژگی‌های برجسته‌ای که دارد کمتر در هیدرولوژی و منابع آب به کار گرفته شده است. به طور کلی از ذکر جزئیات روش‌های مورد استفاده (به جزء روش CCA) صرف نظر شده و بیشترین تأکید بر روی مقایسه و بررسی کارایی هر یک در تحلیل منطقه‌ای سیلاب می‌باشد.

۲. روش‌شناسی تحقیق

پژوهش حاضر از سه بخش اصلی تشکیل شده که شامل: شامل آماده سازی داده‌ها و بررسی همگنی منطقه مورد مطالعه، بخش دوم، شامل برآورد چندک‌های سیلاب با استفاده از روش‌های رگرسیون چندمتغیره، هیبرید، گشتاور خطی و همبستگی متعارف می‌باشد و بخش سوم که، به ارزیابی عملکرد چهار روش تحلیل منطقه‌ای توسط آماره‌های RRMSE و MAE پرداخته است.

داده شد، چرا که این روش در مقایسه با دو روش شاخص سیل و هیبرید از عملکرد بهتری برخوردار است و روش هیبرید در دوره برگشت‌های پایین (کمتر از ۵۰ سال) کارایی بیشتری نسبت به روش شاخص سیل از خود نشان می‌دهد [۱]. همچنین، بررسی روش‌های برآورد دبی اوج در قالب تحلیل منطقه‌ای (روش هیبرید، رگرسیون چندمتغیره و گشتاورهای خطی) در حوزه‌های کم داده نشان داد که برای دوره برگشت‌های کوتاه (کمتر از ۱۰ سال) روش رگرسیون چندمتغیره و سپس روش هیبرید نسبت به روش گشتاورهای خطی برتری دارد. اما برای دوره برگشت‌های بالاتر (بیشتر از ۲۵ سال) روش گشتاورهای خطی مناسب‌تر می‌باشد [۱۴]. با توجه به آنچه گفته شد، تحقیقات زیادی در ارتباط با روش‌های تحلیل منطقه‌ای انجام شده است ولی تا کنون مقایسه‌ای به منظور بررسی عملکرد چهار روش تحلیل منطقه‌ای هیبرید، گشتاورهای خطی، رگرسیون چندمتغیره و CCA در منطقه مورد مطالعه صورت نگرفته است. از این رو این تحقیق با هدف مقایسه عملکرد چهار روش مذکور به اجرا در آمده است، به علاوه



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های آب‌سنجی منطقه

مشخص و سپس به دسته‌بندی حوزه به دو یا چند منطقه همگن اقدام نمود که از نظر خصوصیات تولید سیل و به طور کلی خصوصیات هیدرولوژیکی شباهت بیشتری دارند. از آنجایی که تعداد پارامترها بسیار زیاد می‌باشند جهت کاهش تعداد آن‌ها از تکنیک تجزیه و تحلیل عاملی استفاده شد تا مهم‌ترین پارامترها شناسایی شوند برای انجام تجزیه و تحلیل عاملی از نرم افزار Minitab 14 استفاده گردید. در طی تجزیه و تحلیل عاملی مشخص شد که اطلاعات با اختصاص دادن حول ۴ محور می‌توانند خلاصه شوند. دلیل بر ۴ محور، بالا بودن ریشه پنجهان ماتریس همبستگی بیش از یک است. در این روش هر چقدر مقدار همبستگی داخلی بین متغیرها نزدیک‌تر باشد تعداد عامل‌های پدید آمده کمتر خواهد بود. بنابراین از بین ۱۷ پارامتر مذکور، چهار مؤلفه اصلی که در مجموع ۸۶/۷ درصد از واریانس داده‌ها را تبیین می‌کنند به‌عنوان مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار در نظر گرفته شدند (جدول ۲). مساحت (A)، طول آبراهه اصلی (L)، متوسط بارندگی سالانه (Pa) و بارش ۲۴ ساعته (P_{24}) به‌عنوان فاکتورهای اصلی مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۱). پس از تعیین عوامل مؤثر بر سیلاب، به منظور تحلیل منطقه‌ای بایستی حوزه مورد مطالعه را به مناطق همگن تقسیم نمود. نتایج تحلیل منطقه‌ای، در صورتی معتبر خواهد بود که منطقه مورد بررسی همگن باشد. با تقسیم منطقه به نواحی همگن، از داده‌های ایستگاه‌های موجود با دقت بیشتری می‌توان در مناطق فاقد داده یا دارای آمار کوتاه مدت در هر منطقه همگن استفاده نمود. روش‌های مختلفی برای تعیین نواحی همگن وجود دارد. در این تحقیق از سه روش همگنی، شامل روش آنالیز خوشه‌ای به روش خوشه‌بندی وارد^۱ [۱۴]، گشتاور خطی [۱۶] و روش CCA [۲۰، ۴] استفاده شده است که دقت هر کدام با استفاده از معیار RMSE در ادامه بررسی گردید.

حوزه‌های مورد مطالعه در این پژوهش شامل، حوزه‌های اصفهان- سیرجان و دشت یزد- اردکان است. حوزه اصفهان- سیرجان یا حوزه باتلاق گاوخونی و کویر سیرجان، از جمله زیر حوزه‌های بزرگ مرکزی ایران است. مساحت این حوزه ۹۹۳۰۰ کیلومتر مربع و خود به ۲ زیرحوزه اصلی زاینده رود و ابرقو- سیرجان با وسعت‌های به ترتیب ۴۱۵۲۱ و ۵۷۷۷۹ کیلومتر مربع تقسیم می‌شود. حوزه دشت یزد- اردکان با مساحت ۱۹۹۵/۰۷ کیلومتر مربع در بخش شمالی استان یزد واقع شده است. حوزه زاینده‌رود دارای اقلیم فراهشک تا بسیار مرطوب، حوزه ابرقو- سیرجان دارای اقلیمی با ویژگی بارندگی کم، دامنه نوسان حرارتی کم و بیش زیاد و خشک و حوزه دشت یزد- اردکان دارای اقلیم فراهشک است [۱۶]. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۱.۲. آماده سازی داده و بررسی همگنی

در بخش اول، تعداد ۱۶ ایستگاه آب‌سنجی منطقه انتخاب و ۱۷ عامل اقلیمی (متوسط بارندگی سالانه، حداکثر بارش ۲۴ ساعته و متوسط درجه حرارت سالانه)، فیزیکی (طول و عرض جغرافیایی، مساحت، شیب، طول آبراهه اصلی، ضریب گراولیوس، قطر دایره معادل، تراکم زهکشی، کاربری اراضی، زمان تمرکز و شیب متوسط) و هیدرولوژیکی (متوسط دبی سالانه و حداکثر سیلاب سالانه با دوره بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله) از ایستگاه‌های آب‌سنجی منطقه مورد مطالعه استخراج گردید که به طور خلاصه در جدول (۱) آورده شده است. هدف از تحلیل منطقه‌ای سیلاب تخمین مقادیر جریان و تناوب وقوع آن در یک منطقه است. وابسته بودن مکانی داده‌های سیلاب، خطای برآورد چندک‌های سیلاب را افزایش می‌دهد ولی میزان این افزایش کمتر از اریبی است که به خاطر ناهمگنی ناحیه به چندک‌های سیلاب اعمال می‌شود [۱۹]. در کلیه روش‌های تحلیل منطقه‌ای سیلاب ابتدا بایستی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر سیلاب را

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های ایستگاه‌های آب‌سنجی منتخب

ردیف	کدایستگاه	نام ایستگاه	مشخصات جغرافیایی		A (km ²)	L (km)	P24 mm	Pa mm
			عرض	طول				
۱	۴۲-۰۰۱	چهلگرد	۳۲° ۲۸'	۵۰° ۰۷'	۴۳۰	۳۲/۷۵	۹۴/۸۲	۱۴۹۴/۴۸
۲	۴۲-۰۰۳	قلعه شاهرخ	۳۲° ۳۹'	۵۰° ۲۸'	۱۹۱۷/۵	۶۶/۵	۵۷/۵۲	۵۶۸/۶۶
۳	۴۲-۰۰۵	اسکندری	۳۲° ۴۹'	۵۰° ۲۶'	۱۶۰۰	۴۱/۵	۵۸/۸۳	۴۲۱/۴۳
۴	۴۲-۰۰۹	زمانخان	۳۲° ۳۰'	۵۰° ۵۴'	۵۷۶۶	۱۳۰/۵	۴۳/۸۲	۴۷۲/۶۱
۵	۴۲-۰۲۹	بندپایین	۲۹° ۵۵'	۵۴° ۰۵'	۱۰۱۱/۵	۳۵	۴۳/۱۶	۲۷۶/۴۲
۶	۴۲-۰۳۵	دره در	۳۲° ۴۵'	۵۰° ۱۷'	۳۲	۹/۲۵	۹۲/۵۶	۱۴۷۴/۱
۷	۴۲-۰۳۹	تاجو مدوار	۳۰° ۲۰'	۵۵° ۱۱'	۴۷/۷	۱۴	۴۷/۲۴	۳۶۳/۹۳
۸	۴۲-۰۴۷	مندرجان	۳۲° ۴۷'	۵۰° ۳۹'	۱۱۹/۵	۱۶/۵	۴۶/۰۶	۴۳۲/۲۹
۹	۴۲-۰۶۱	آبدرمیان	۳۰° ۱۵'	۵۵° ۱۷'	۴۶/۳	۱۲/۷۵	۴۶/۲۳	۳۵۶/۱۸
۱۰	۴۲-۰۶۳	رمزج	۲۹° ۲۲'	۵۸° ۰۸'	۱۲۰	۷	۲۸/۳۶	۱۵۲/۴۳
۱۱	۴۲-۰۶۵	سوچ	۲۹° ۱۸'	۵۶° ۱۵'	۲۱/۰۲	۲۵/۲۵	۳۱/۹۷	۲۴۳/۲۶
۱۲	۴۲-۱۰۱	کرخنگان	۳۰° ۰۹'	۵۳° ۵۸'	۹/۱	۵/۵	۵۴/۸۷	۴۰۵/۱۱
۱۳	۴۶-۰۵۱	باغستان	۳۱° ۳۶'	۵۴° ۰۷'	۶۶/۲۲	۱۲/۷	۵۴/۲	۳۳۸/۴۵
۱۴	۴۶-۰۶۱	طزرجان	۳۱° ۳۵'	۵۴° ۱۱'	۲۹/۸۵	۸/۲	۴۰/۸۲	۲۴۵/۶۱
۱۵	۴۶-۰۶۳	دره	۳۱° ۳۲'	۵۴° ۱۳'	۵۲/۵۷	۱۶	۵۶/۵	۳۶۶/۴۱
۱۶	۴۶-۱۰۱	فخرآباد	۳۱° ۳۷'	۵۴° ۱۵'	۲۰۵/۲	۲۴/۵	۲۵/۱۴	۱۴۰

جدول ۲. مقادیر ریشه پنهان ماتریس همبستگی

محور	ریشه پنهان	درصد پراش	درصد تجمعی پراش
۱	۵/۱۳	۳۳/۷	۳۳/۷
۲	۴/۰۳	۲۷	۶۰/۷
۳	۲/۴۵	۱۶/۴	۷۷/۱
۴	۱/۰۸۱	۹/۶	۸۶/۷

۲،۲. تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب

در پژوهش حاضر از چهار روش تحلیل فراوانی سیل شامل رگرسیون چندمتغیره، هیبرید، گشتاورهای خطی و همبستگی متعارف استفاده و چندک‌های سیلاب برآورد می‌شوند.

۱،۲،۲. روش رگرسیون چندمتغیره

روش رگرسیون چندمتغیره از جمله روش‌های سنتی

در تحلیل منطقه‌ای سیل به حساب می‌آید. در این روش یک رابطه‌ی توانی بین ۲ یا چند پارامتر فیزیکی و هیدرواقلمی حوزه به‌عنوان متغیرهای مستقل و دبی پیک جریان به‌عنوان متغیر وابسته به دست می‌آید (رابطه ۱) که میزان دقت رابطه به مقدار ضریب همبستگی (r) بستگی دارد [۱۴].

$$Q_T = \alpha A^a B^b C^c \dots M^m \quad (1)$$

می‌توانند برای محاسبه دبی حداکثر با دوره بازگشت‌های مختلف از توزیع‌های آماری مختلف مورد استفاده قرار گیرند. گشتاورهای خطی و گشتاورهای وزنی احتمالی^۱ شبیه به گشتاورهای عادی هستند که به صورت خلاصه توزیع‌های تئوریک احتمالی برای نمونه‌های مشاهداتی تعریف می‌شود. گشتاورهای وزنی احتمالی را می‌توان به صورت رابطه^(۲) نمایش داد [۱۶]:

$$\beta_r = E\{X[F(X)]^r\} \quad (2)$$

که در آن $F(X)$ تابع توزیع تجمعی (cdf) برای x و $X(F)$ معکوس تابع توزیع تجمعی از x محاسبه شده برای احتمال F و $r=0,1,2,\dots$ یک عدد صحیح غیر منفی است که برای $r=0$ ، β_0 برابر با میانگین توزیع است. هاسکینک (۱۹۹۰) گشتاورهای خطی را پیشنهاد کرد که ترکیباتی خطی از گشتاورهای وزنی احتمالی است. این ترکیبات عبارتند از:

$$\lambda_1 = \beta_0 \quad (3)$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \quad (4)$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \quad (5)$$

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \quad (6)$$

λ_1 یا میانگین گشتاورهای خطی، معیاری از تمایل به مرکز و λ_2 انحراف معیار گشتاورهای خطی معیاری از پراکندگی است. نسبت λ_2 به λ_1 یا τ به عنوان ضریب تغییرات^۲ گشتاورهای خطی، نسبت λ_3 به λ_2 یا τ_3 به عنوان ضریب چولگی^۳ گشتاور خطی و نسبت λ_4 به λ_2 یا τ_4 به عنوان ضریب کشیدگی خطی^۴ نامیده می‌شود [۲۴].

- 1-Probability Weighted moment (PWM)
- 1- Linear coefficient of variation (L-CV)
- 2-Linear coefficient of Skewness (L-Cs)
- 3- Linear coefficient of Kurtosis (L-CK)

۲،۲،۲. روش هیبرید

روش هیبرید یکی از روش‌های تحلیل منطقه‌ای است که بر اساس روش ایستگاه-سال می‌باشد. مدل استفاده شده در روش هیبرید مثل انواع مدل‌هایی که در روش‌های مختلف تحلیل منطقه‌ای سیل مورد استفاده است به صورت رابطه (۱) بوده که در آن α مقداری ثابت، Qt دبی با دوره بازگشت معین و A ، B و C پارامترهای مستقل حوزه و a ، b و c مؤلفه‌های رگرسیون می‌باشند. مهم‌ترین مزایای روش هیبرید در مقایسه با سایر روش‌های معمول عبارت است از: ۱- این روش تمامی داده‌های مشاهده‌ای موجود در سطح اعتماد مورد نظر را مورد استفاده قرار می‌دهد. ۲- با ترکیب داده‌های مشاهده شده در ایستگاه‌های همگن یک آمار طولانی مدت به دست می‌آید که برازش توزیع‌های آماری با آن بهتر انجام گرفته و از دقت بیشتری برخوردار است. ۳- استفاده از طول آماری بلندمدت، نیاز به برون‌یابی روابط به دست آمده برای برآورد دبی‌های نادر مثل ۱۰۰ ساله را برطرف می‌کند. ۴- تأثیر قضاوت‌های شخصی در تطبیق روابط فوق با مقادیر مشاهده شده به حداقل می‌رسد [۱۵]. روش هیبرید شامل دو بخش است که در بخش اول منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش تجزیه و تحلیل عاملی و بر اساس مهم‌ترین پارامترهای حوزه به مناطق همگن تقسیم و آمار سیلاب‌های اوج در هر طبقه با هم ترکیب می‌شوند. در بخش دوم، آمار دبی‌های اوج سالیانه بر اساس یک فاکتور تقریبی، استاندارد می‌شوند و سپس در مرحله نهایی فرآیند هیبرید، عامل تقریبی استاندارد بر اساس تکنیکی مرکب از رگرسیون و تحلیل فراوانی سیل اصلاح می‌شود.

۳،۲،۲. روش گشتاورهای خطی

روش گشتاورهای خطی از جمله روش‌هایی است که برای انتخاب توزیع‌های مناسب آماری، تخمین پارامترهای توزیع و منطقه‌ای کردن برای داده‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی به کار می‌رود. پارامترهای آماری که از روی گشتاورهای خطی به دست می‌آیند،

۴،۲،۲. روش CCA

روش CCA، یک روش آماری چند متغیره است که با استفاده از زوج متغیرهای متعارف و روابط میان آن‌ها، ایستگاه‌های مشابه به ایستگاه فاقد آمار را شناسایی می‌کند. در این روش، دو متغیر جدید به دست می‌آید که دارای بیشترین همبستگی می‌باشند، یکی ترکیب خطی از متغیرهای حوزه (یا خصوصیات فیزیوگرافی) که برای تمامی ایستگاه‌ها از جمله ایستگاه فاقد آمار قابل محاسبه است و دیگری ترکیب خطی از متغیرهای جریان می‌باشد که برای ایستگاه فاقد آمار با استفاده از روابط رگرسیونی بین این دو متغیر جدید قابل محاسبه است. در اینجا ایستگاهی با ایستگاه فاقد آمار تشابه دارد که مقدار عددی متغیر جریان آن ایستگاه نزدیک به ایستگاه فاقد آمار باشد [۱۹]. برای استخراج این متغیرها نیاز به X متغیر حوزه (ماتریس $N \times p$) و Y متغیر جریان (ماتریس $N \times q$) داریم. روش CCA، توابع خطی بین دو مجموعه از متغیرهای X_1, \dots, X_p (متغیرهای حوزه) و Y_1, \dots, Y_q (متغیرهای جریان) را به گونه‌ای تولید می‌نماید که ضریب همبستگی بین توابع متناظر حوزه و جریان به بیشینه مقدار خود برسد ($q \leq p$). ترکیبات خطی (زوج متغیر متعارف k ام) برای متغیرهای حوزه (U_k) و متغیرهای جریان (V_k) عبارتند از [۴]:

$$U_k = e'_k \sum_{XX}^{-1/2} X \quad (7)$$

$$V_k = f'_k \sum_{YY}^{-1/2} Y \quad (8)$$

در اینجا $\rho_1^2 \geq \rho_2^2 \geq \dots \geq \rho_p^2$ مقادیر ویژه مرتب شده برای ماتریس $\sum_{XX}^{-1/2} \sum_{XY} \sum_{YY}^{-1} \sum_{YX} \sum_{XX}^{-1/2}$ با بردارهای ویژه ماتریس e_1, e_2, \dots, e_p بوده و

f_1, f_2, \dots, f_p بردارهای ویژه ماتریس $\rho_1^2 \sum_{YY}^{-1/2} \sum_{YX} \sum_{XX}^{-1} \sum_{XY} \sum_{YY}^{-1/2}$ می‌باشد. از آنجا که ρ_1^2 بزرگترین مقدار ویژه می‌باشد، اولین زوج متغیر متعارف (U_1, V_1) دارای بیشترین همبستگی بوده و دومین زوج متغیر متعارف (U_2, V_2) از نظر همبستگی در مرتبه دوم قرار دارند و در مقابل بقیه زوج متغیرهای متعارف در مقایسه با دو زوج متغیر متعارف اول دارای همبستگی ناچیزی می‌باشد [۱۷]. برای تعیین ناحیه مربوط به ایستگاه فاقد آمار با استفاده از روش CCA، از رابطه ماخالانوبیس به شکل رابطه (۹) و برای ایستگاه‌های دارای آمار از رابطه (۱۰) استفاده می‌شود [۶]. که در آن U_0 بردار متغیرهای متعارف حوزه در ایستگاه هدف، V_0 بردار متغیرهای متعارف جریان برای ایستگاه هدف، I_p ماتریس همبستگی Λ و Λ ماتریس قطری از ضرائب همبستگی متعارف می‌باشند. در مطالعه حاضر برای تعیین ناحیه مربوط به ایستگاه فاقد آمار، از دو زوج متغیر متعارف اول (U_1, V_1) و دوم (U_2, V_2) استفاده می‌گردد. از آنجایی که در ایستگاه فاقد آمار، مشخصه‌های جریان وجود ندارد مقدار متغیرهای متعارف جریان \hat{V}_1 و \hat{V}_2 قابل محاسبه نیست. جهت محاسبه مقدار \hat{V}_1 می‌توان از رابطه رگرسیون خطی بین U_1 و V_1 استفاده نمود و به همین ترتیب مقدار متغیر \hat{V}_2 را از رابطه رگرسیونی بین U_2 و V_2 برآورد نمود. سپس فاصله نقاط دو متغیر متعارف جریان (V_1, V_2) در ایستگاه‌های مختلف نسبت به نقطه (\hat{V}_1, \hat{V}_2) در ایستگاه فاقد آمار محاسبه شده و به ترتیب صعودی مرتب می‌شود. این فاصله با استفاده از رابطه (۹) محاسبه می‌گردد [۶، ۲۱].

$$(V - \hat{\Lambda}U_0)' (I_p - \hat{\Lambda}\hat{\Lambda}')^{-1} (V - \hat{\Lambda}U_0) \leq \chi_{\alpha, p}^2 \quad (9)$$

روش تجزیه و تحلیل عاملی مساحت، طول آبراهه اصلی، حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۲ سال و متوسط بارش سالانه به عنوان مهم‌ترین و مؤثرترین پارامترها شناخته شدند که این عوامل در مجموع ۸۶/۷ درصد واریانس را توجیه می‌نمودند. با استفاده از نتایج تجزیه و تحلیل عاملی، همگنی در منطقه مورد مطالعه به روش خوشه‌بندی وارد تشخیص داده شد. در این پژوهش نتایج روش هیبرید و رگرسیون چندمتغیره که قبلاً در منطقه مطالعاتی و با همین منظور انجام شده، نیز استفاده گردید. بر پایه نتایج به دست آمده از تجزیه و تحلیل عاملی، برای دو روش هیبرید و رگرسیون خطی، فرمول‌های محاسبه دبی برای دوره برگشت‌های ۲ تا ۵۰ سال برآورد گردید (جدول ۳ تا ۵).

به این ترتیب، سه مدل به دست آمد که شامل مدل ۱، محاسبه دبی اوج توسط مساحت حوزه (A)، مدل ۲، محاسبه دبی اوج توسط طول آبراهه اصلی (L) و متوسط بارندگی سالانه (Pa) و مدل سوم، محاسبه دبی اوج توسط طول آبراهه اصلی (L) و بارندگی ۲۴ ساعته (P24) می‌باشد [۱۴]. در ادامه، جهت تحلیل منطقه‌ای سیلاب با استفاده از روش گشتاورهای خطی، ابتدا بایستی نسبت گشتاورهای خطی (ضریب تغییرات، ضریب چولگی و ضریب کشیدگی گشتاورهای خطی) برای ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه محاسبه گردد. به این منظور برنامه‌ای در محیط MATLAB نوشته شد.

$$(V - V_0)' (I_p - \hat{\Lambda} \hat{\Lambda}')^{-1} (V - V_0) \leq \chi_{\alpha, p}^2 \quad (10)$$

۳.۲. ارزیابی عملکرد روش‌های تحلیل منطقه‌ای

به منظور ارزیابی عملکرد چهار روش تحلیل فراوانی منطقه‌ای، از دو معیار RRMSE و میانگین خطای مطلق (MAE) استفاده گردید. علاوه بر آن از معیار RMSE نیز برای ارزیابی روش‌های همگنی به کار رفته در این پژوهش استفاده شده است که در روابط فوق، P_i مقدار دبی پیش بینی شده، Q_i مقدار دبی مشاهداتی می‌باشند.

$$RRMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{(Q_i) - (P_i)}{(Q_i)} \right]^2 \right)} \quad (11)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Q_i - P_i|}{n} \quad (12)$$

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(Q_i) - (P_i)]^2 \right)} \quad (13)$$

۳. نتایج

شرط اصلی تحلیل منطقه‌ای، همگن بودن منطقه مورد مطالعه است که برای همگن‌بندی ابتدا با اعمال

جدول ۳. فرمول‌های استخراج شده جهت محاسبه دبی پیک توسط مساحت (A) به روش هیبرید و رگرسیون خطی [۱۴]

R ²		روش رگرسیون خطی	روش هیبرید	دوره بازگشت
رگرسیون خطی	هیبرید			
۰/۸۳	۰/۸	$Q_2 = 4.13 A^{0.33}$	$Q_2 = 41.09 A^{0.02}$	۲
۰/۸۲	۰/۷۸	$Q_5 = 8.87 A^{0.26}$	$Q_5 = 47.5 A^{0.03}$	۵
۰/۷۵	۰/۷	$Q_{10} = 15.48 A^{0.22}$	$Q_{10} = 60.5 A^{0.04}$	۱۰
۰/۶۱	۰/۵۹	$Q_{25} = 34.67 A^{0.18}$	$Q_{25} = 100.6 A^{0.04}$	۲۵
۰/۵۲	۰/۵	$Q_{50} = 66.06 A^{0.16}$	$Q_{50} = 147.9 A^{0.071}$	۵۰

جدول ۴. فرمول‌های استخراج شده جهت محاسبه دبی پیک توسط طول آبراهه اصلی (L) و متوسط بارندگی (Pa) به روش هیبرید و رگرسیون خطی [۱۴]

R ²		روش رگرسیون خطی	روش هیبرید	دوره بازگشت
رگرسیون خطی	هیبرید			
۰/۸۶	۰/۸۳	$Q_2 = 0.12L^{0.66} P_a^{0.54}$	$Q_2 = 0.35L^{0.69} P_a^{0.42}$	۲
۰/۸۲	۰/۸	$Q_5 = 0.68L^{0.52} P_a^{0.39}$	$Q_5 = 1.55L^{0.62} P_a^{0.25}$	۵
۰/۷۶	۰/۷۲	$Q_{10} = 3.07L^{0.44} P_a^{0.24}$	$Q_{10} = 6.04L^{0.56} P_a^{0.11}$	۱۰
۰/۷۰	۰/۶۸	$Q_{25} = 23.9L^{0.36} P_a^{0.04}$	$Q_{25} = 28.8L^{0.47}$	۲۵
۰/۶۵	۰/۶۰	$Q_{10} = 93.32L^{0.33} P_a^{-0.07}$	$Q_{50} = 60.3L^{0.41}$	۵۰

جدول ۵. فرمول‌های استخراج شده جهت محاسبه دبی پیک توسط طول آبراهه اصلی (L) و بارندگی (P₂₄) به روش هیبرید و رگرسیون خطی [۱۴]

R ²		روش رگرسیون خطی	روش هیبرید	دوره بازگشت
رگرسیون خطی	هیبرید			
۰/۸۷	۰/۸۴	$Q_2 = 0.03L^{1.19} P_{24h}^{0.64}$	$Q_2 = 0.11L^{0.694} P_{24h}^{0.925}$	۲
۰/۸۲	۰/۸۰	$Q_5 = 0.33L^{0.79} P_{24h}^{0.51}$	$Q_5 = 0.85L^{0.62} P_{24h}^{0.55}$	۵
۰/۷۸	۰/۷۳	$Q_{10} = 2.04L^{0.47} P_{24h}^{0.44}$	$Q_{10} = 4.7L^{0.56} P_{24h}^{0.24}$	۱۰
۰/۷۰	۰/۶۹	$Q_{25} = 22.09L^{0.07} P_{24h}^{0.36}$	$Q_{25} = 28.8L^{0.47}$	۲۵
۰/۶۵	۰/۶۰	$Q_{50} = 109.6L^{-0.15} P_{24h}^{0.33}$	$Q_{50} = 60.3L^{0.41}$	۵۰

سپس معیار همگنی هاسکینگ^۲ [۲۰، ۲۲، ۲۳] با برازش توزیع کاپا به داده‌های ۱۵ ایستگاه آب‌سنجی در منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید. جدول (۷) نتایج هر یک از آزمون‌های همگنی هاسکینگ (H) را نشان می‌دهد، نتایج حاکی از ناهمگنی منطقه مورد مطالعه است چرا که مقادیر آماره‌های H، بیشتر از ۱ بوده که نشان از ناهمگنی ناحیه به دست آمده از روش خوشه بندی وارد دارد. از این رو برای به دست آوردن ناحیه‌ای همگن، اقدام به حذف ایستگاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه گردید (ایستگاه‌هایی که مقدار Di آن‌ها

برای تعیین همگنی از روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی وارد استفاده گردید. سپس همگنی اولیه با استفاده از معیار ناهمنوائی هاسکینگ و والیس^۱ [۲] بررسی شد. با استفاده از این معیار در ابتدا مکان‌هایی که در فضای τ_1 و τ_4 نسبت به کل گروه ناهماهنگ هستند، تعیین می‌شوند، این مکان‌ها دارای Di بیشتر از ۳ می‌باشند. محاسبه این معیار برای کلیه ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه نشان داد که تنها ایستگاه دره در به جهت داشتن میزان Di بیشتر از ۳، ناهماهنگ با سایر ایستگاه‌هاست و به همین خاطر این ایستگاه حذف و از سایر مراحل مطالعاتی کنار گذاشته شد. نتایج حاصله در جدول (۶) نشان داده شده است.

1- Discordancy measure (Di)
2- Homogeneity measure (H)

انتخاب گردید. بر اساس نتایج حاصل از آزمون نکوئی Z^{DIST} [۲] توزیع پیرسون نوع سوم به عنوان بهترین تابع توزیع منطقه‌ای معرفی شد و مقادیر دبی با دوره برگشت‌های مختلف برای منطقه مورد مطالعه به دست آمد.

نزدیک به ۳ بود) تا در نهایت، ناحیه‌ای همگن حاصل شد که شامل ایستگاه‌های شماره ۳، ۵، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۵ و ۱۶ است. در ادامه معیار ناهمگنی هاسکینگ با برآزش توزیع کاپا به داده‌های این ۹ ایستگاه برآورد شد. نتایج مربوط به همگنی در جدول (۷) آورده شده است. با استفاده از آزمون نکوئی برآزش، بهترین توزیع منطقه‌ای

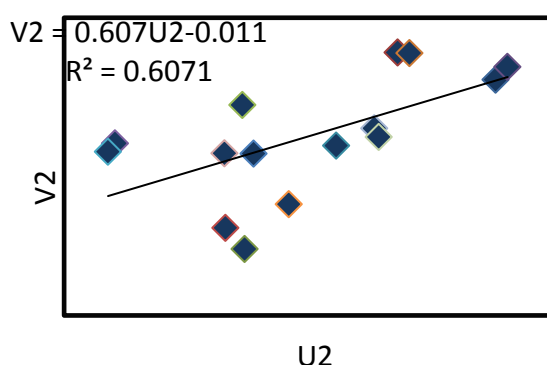
جدول ۶. مقادیر نسبت گشتاورهای خطی ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه

D_i	ضریب کشیدگی L-CK	ضریب چولگی L-CS	ضریب تغییرات L-CV	میانگین	سال آماری	کد ایستگاه
۰/۲۷	۰/۳۱۵۱	۰/۳۴۸۱	۰/۴۲۲۶	۲۷/۴۸	۱۲	۴۲-۰۰۱
۰/۲۶	۰/۳۱۶۲	۰/۳۷۴۷	۰/۴۴۰۳	۲۶/۴۸	۱۲	۴۲-۰۰۳
۰/۲۲	۰/۲۰۳۰	۰/۳۹۳۰	۰/۵۳۹۹	۱۵/۵	۱۴	۴۲-۰۰۵
۱/۰۳	۰/۰۹۰۶	۰/۴۰۲۶	۰/۵۱۶۸	۴۳/۰۱	۱۲	۴۲-۰۰۹
۰/۲۵	۰/۱۵۹۷	۰/۳۶۳۵	۰/۴۷۹۷	۴/۹۹	۶	۴۲-۰۲۹
۰/۱۷	۰/۱۶۴۷	۰/۳۳۱۰	۰/۴۵۷۷	۱۴/۳۳	۸	۴۲-۰۳۵
*۳/۲۱	۰/۳۲۹۶	-۰/۰۷۶۰	۰/۱۳۱۹	۵۸/۷۴	۱۳	۴۲-۰۳۹
۲/۶۴	۰/۴۵۹۵	۰/۳۵۳۱	۰/۱۰۷۲	۲۶/۶۹	۱۸	۴۲-۰۴۷
۰/۶۳	۰/۱۹۷۷	۰/۲۷۰۷	۰/۳۰۰۱	۳۲۴/۷۸	۳۵	۴۲-۰۶۱
۱/۲۰	۰/۳۴۹۸	۰/۴۲۶۳	۰/۲۷۶۵	۱۰۳/۱۰	۱۹	۴۲-۰۶۳
۰/۵۲	۰/۳۳۹۰	۰/۴۹۱۵	۰/۵۰۳۸	۳۹/۶۵	۳۷	۴۲-۰۶۵
۰/۱۷	۰/۲۴۴۵	۰/۴۲۴۷	۰/۵۲۲۱	۳۱/۹۱	۲۱	۴۲-۱۰۱
۱/۹۵	۰/۷۳۹	-۰/۰۲۴۱	۰/۳۱۹۹	۱۲/۵۵	۱۰	۴۶-۰۵۱
۱/۲۸	۰/۰۳۱۸	۰/۲۵۲۶	۰/۴۶۴۲	۵/۷۰	۶	۴۶-۰۶۱
۰/۳۵	۰/۲۶۹۶	۰/۴۵۱۸	۰/۵۴۶۰	۱۰/۶	۲۸	۴۶-۰۶۳
۱/۸۴	۰/۳۰۴۱	۰/۵۸۸۴	۰/۷۰۵۴	۱۰/۸۱	۱۹	۴۶-۱۰۱
-	۰/۲۷۷	۰/۴۴۳۱	۰/۵۴۳	-		میانگین منطقه‌ای

جدول ۷. معیار ناهمگنی هاسکینگ برای منطقه مورد مطالعه

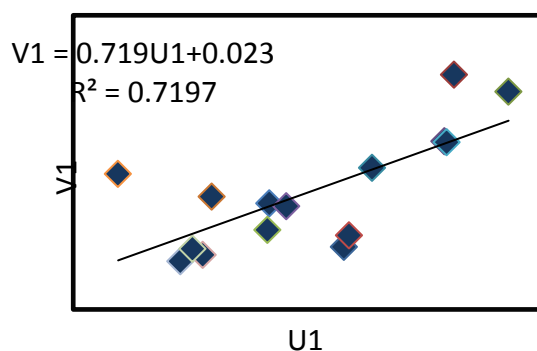
منطقه همگن	آماره H_1	آماره H_2	آماره H_3
Ward's Cluster (کل منطقه مورد مطالعه)	۵/۰۲	۱/۶۳	-۰/۹۲
حاصل از L-Moment (دارای ۹ ایستگاه آب‌سنجی)	۰/۹۲	-۱/۱۷	-۱/۹۷
حاصل از CCA	-۰/۰۶	-۱/۳۴	۰/۱۷۷

روش CCA، توابع خطی بین دو مجموعه از متغیرهای X_1, \dots, X_p (متغیر حوزه) و Y_1, \dots, Y_q (متغیر جریان) را به گونه‌ای تولید می‌نماید که ضریب همبستگی بین توابع متناظر حوزه و جریان به بیشینه مقدار خود برسد. ترکیبات خطی (زوج متغیر متعارف k ام) برای متغیرهای حوزه (U_k) و متغیرهای جریان (V_k) در شکل‌های (۲) و (۳) آورده شده است.



شکل ۳. مقادیر دومین زوج متغیر متعارف منطقه مورد مطالعه

در نهایت، به منظور تحلیل منطقه‌ای سیلاب با استفاده از روش همبستگی متعارف (CCA)، نیاز به X متغیر حوزه (مساحت، طول آبراهه اصلی، حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته و متوسط بارش سالانه) و Y متغیر جریان (حداکثر سیلاب با دوره برگشت ۲ سال و نسبت حداکثر سیلاب سالانه با دوره بازگشت ۱۰۰ سال به حداکثر سیلاب سالانه با دوره بازگشت ۲ سال) داریم.



شکل ۲. مقادیر اولین زوج متغیر متعارف منطقه مورد مطالعه

MAE و RRMSE ارزیابی گردید. به منظور مقایسه بهتر، مجموعه نمرات داده شده (رتبه‌ها) برای هر یک از روش‌های تحلیل فراوانی منطقه‌ای به دست آمد. در این روش به کمترین مقدار خطا نمره یک و روشی که بیشترین مقدار خطا را دارا است، بالاترین نمره و به مجموع مقدار خطاهای مساوی نمرات یکسان داده شد و مجموع این نمرات برای هر یک از روش‌های تحلیل منطقه‌ای به دست آمد. بر این اساس روشی مناسب است که کمترین نمره را دارا می‌باشد (جدول ۸ و ۹).

در کلیه روش‌های تحلیل منطقه‌ای سیلاب ابتدا بایستی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر سیلاب را مشخص و سپس به دسته‌بندی حوزه به دو یا چند منطقه همگن اقدام نمود که از نظر خصوصیات تولید سیل و به طور کلی خصوصیات هیدرولوژیکی شباهت بیشتری دارند.

سپس با استفاده از زوج متغیرهای متعارف به دست آمده، همگنی منطقه مورد مطالعه از رابطه ماهالانوبیس^۱ بررسی گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که ۱۱ ایستگاه آب‌سنجی موجود در منطقه مورد مطالعه (ایستگاه‌های ۳، ۵، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۵ و ۱۶) در یک ناحیه همگن قرار دارند. علاوه بر این همگنی به دست آمده از روش CCA توسط تست ناهمگنی هاسکینگ بررسی شد و نتایج نشان داد که در این ناحیه سه آماره ناهمگنی (H_1 ، H_2 و H_3) کمتر از یک بوده و منطقه همگن است (جدول ۷). بعد از تأیید همگنی، دبی با دوره برگشت‌های مختلف (۲ تا ۵۰ سال) برآورد گردید. در نهایت میزان صحت و دقت دبی‌های برآورد شده با دوره برگشت‌های مختلف توسط آماره‌های

1- Mahalanobis Distance (MD)

جدول ۸. مقایسه آماری نتایج حاصله از سه مدل هیبرید و دو مدل رگرسیون خطی برای محاسبه دبی پیک

دوره برگشت	هیبرید مدل ۱		رگرسیون خطی مدل ۱		هیبرید مدل ۲		رگرسیون خطی مدل ۲	
	MAE	RRMSE	MAE	RRMSE	MAE	RRMSE	MAE	RRMSE
۲	۴۴/۳۰	۳/۸۶	۳۲/۳۹	۱/۲۳	۳۷/۳۴	۱/۹۲	۳۰/۵۴	۱/۰۳
۵	۵۶/۴۵	۲/۴۲	۳۷/۱۹	۱/۰۱	۴۲/۴۷	۱/۴۲	۳۴/۹۹	۰/۸۳
۱۰	۵۱/۹۷	۱/۹۲	۴۷/۰۷	۰/۹۳	۵۱/۳۷	۱/۴۰	۴۴/۵۲	۰/۸۶
۲۵	۷۶/۴۸	۱/۶۲	۷۶/۹۸	۰/۹	۸۲/۴۲	۱/۴۰	۷۳/۹۵	۰/۹۳
۵۰	۱۲۶/۲۵	۱/۵۲	۱۲۶/۹۷	۰/۹۲	۱۳۷/۲۰	۱/۴۳	۶۱/۵۴	۱/۰۵
مجموع رتبه‌ها	۳۰	۳۶	۲۲	۱۷	۲۸	۳۰	۱۱	۱۵

جدول ۹. مقایسه آماری نتایج حاصله از مدل سوم رگرسیون خطی، گشتاور خطی و روش همبستگی متعارف

دوره برگشت	هیبرید مدل ۳		رگرسیون خطی مدل ۳		L-moment		CCA	
	MAE	RRMSE	MAE	RRMSE	MAE	RRMSE	MAE	RRMSE
۲	۳۷/۶۵	۱/۷۸	۳۲/۲۹	۰/۵۹	۳۶/۷	۱/۱۵	۸/۸۱	۰/۱۶
۵	۴۲/۵۸	۱/۳۹	۳۶/۷۵	۰/۶۲	۷۲/۳۶	۱/۳۴	۲۶/۷۵	۱/۴۸
۱۰	۵۱/۴۱	۱/۳۹	۴۳/۹۲	۰/۸۲	۹۰/۸۶	۱/۲۲	۲۴/۳۳	۰/۸۳
۲۵	۸۲/۴۲	۱/۴۰	۷۶/۳۶	۱/۳۴	۱۰۹/۳۱	۰/۸	۲۶/۵۰	۰/۶۵
۵۰	۱۳۷/۲۰	۱/۴۳	۱۴۹/۱۹	۲/۱۳	۱۰۸/۶۳	۰/۵	۳۲/۷۶	۰/۸۹
مجموع رتبه‌ها	۳۱	۲۷	۱۸	۱۶	۳۲	۱۵	۵	۱۲

ناحیه‌بندی مربوط به روش CCA بوده که این نشان-دهنده برآورد دقیق‌تر این روش نسبت به دو روش دیگر می‌باشد. چرا که در تحلیل منطقه‌ای سیلاب، هدف ناحیه‌بندی بر پایه شباهت هیدرولوژیکی است و روش CCA به علت استفاده توأم از متغیرهای جریان و حوزه از عملکرد بهتری در تعیین شباهت هیدرولوژیک ایستگاه‌ها نسبت به Ward's Cluster و L-Moment برخوردار است.

روش‌های مختلفی برای ناحیه‌بندی استفاده می‌شود که کارایی این روش‌ها بستگی به شناخت کامل متغیرهای حوزه و وزن آن‌ها دارد. به منظور بررسی دقیق‌تر ناحیه‌بندی به سه روش Ward's Cluster، L-Moment و CCA، RMSE چندک‌های سیلاب برای هر کدام از روش‌های ناحیه‌بندی به دست آمد. بر پایه نتایج جدول (۱۰)، کمترین مقدار RMSE در سه روش

روش همگن‌بندی	Ward's Cluster	رگرسیون	هیبرید
مدل ۱	۶۴/۵		
مدل ۲	۶۲/۹		
مدل ۳	۶۱/۴		
مدل ۱	۵۷/۸۲		
مدل ۲	۵۰/۶		
مدل ۳	۵۲/۲۱		
L-Moment			
CCA			
	۶۸/۳۰		
	۳۱/۲۳		

۴. بحث و نتیجه‌گیری

از گام‌های اولیه و ضروری در تحلیل منطقه‌ای سیلاب، تعیین عوامل مؤثر بر سیلاب و دسته‌بندی حوزه به دو یا چند منطقه همگن می‌باشد که از نظر خصوصیات تولید سیل و به طور کلی خصوصیات هیدرولوژیکی شباهت بیشتری دارند. روش‌های مختلفی برای تعیین نواحی همگن وجود دارد. مشکل اصلی در روش‌های همگن‌بندی، عدم وجود معیار مناسب جهت تعیین پارامترهای مؤثر بر ناحیه‌بندی و وزن آن‌ها می‌باشد که به همین سبب ناحیه‌بندی صورت گرفته نمی‌تواند یگانه باشد و با تغییر پارامترها و وزن آن‌ها می‌توان به ناحیه‌بندی دیگری دست یافت [۱۹]. به همین منظور، پس از تعیین پارامترهای مؤثر بر ناحیه‌بندی (مساحت، طول آبراهه اصلی، حداکثر بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۲ سال و متوسط بارش سالانه)، همگنی منطقه مورد مطالعه به سه روش Ward's Cluster، L-Moment و CCA مورد بررسی قرار گرفت. در هر روش بعد از تأیید همگنی، برآورد چندک‌های سیلاب با استفاده از روش‌های رگرسیون چندمتغیره، هیبرید، گشتاور خطی و همبستگی متعارف صورت گرفت. بررسی‌های صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه نشان داد که به طور کلی روش CCA به نسبت سه روش دیگر، از مقادیر خطای کمتری برخوردار بوده و مناسب‌تر است. بعد از روش CCA، روش رگرسیون خطی مدل ۲ و مدل ۳، به لحاظ داشتن کمترین مقادیر RRMSE و MAE مناسب تشخیص داده شدند. به طور کلی هر سه مدل (مدل‌های ۱، ۲ و ۳) روش رگرسیون خطی نسبت به روش هیبرید و گشتاورهای خطی مقادیر خطای کمتری داشته‌اند که در این میان مدل‌های ۲ و ۳، به لحاظ داشتن کمترین مقادیر RRMSE و MAE مناسب تشخیص داده شدند و از عملکرد بهتری برخوردار هستند. بعد از روش رگرسیون، روش‌های هیبرید و گشتاورهای خطی به ترتیب با دوره برگشت‌های پایین (کمتر از ۲۵ سال) و با

دوره برگشت‌های بالا (بیشتر از ۲۵ سال) برآوردهای مناسبی را دارا هستند. البته در دوره برگشت‌های بالا (۲۵ و ۵۰ سال) مقادیر خطای روش‌های تحلیل فراوانی به جز در روش CCA به هم نزدیک‌تر شده‌اند. نتایج به دست آمده از این مطالعه با مطالعات سیف [۲۵]، عباسی‌زاده [۱] و نیز نجاتی و همکاران [۱۸] همخوانی داشته و بیانگر عملکرد خوب روش CCA در تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب در منطقه مورد مطالعه نسبت به روش‌های گشتاورهای خطی، رگرسیون چندمتغیره و روش هیبرید می‌باشد. مقایسه بین نتایج به دست آمده از روش‌های تحلیل منطقه‌ای نشان داد که در دوره برگشت‌های بالا (۲۵ و ۵۰ سال) روش CCA و به خصوص روش گشتاورهای خطی نسبت به سایر روش‌ها دقت برآورد بیشتری دارد اما روش رگرسیون خطی در دوره برگشت‌های پایین (کمتر از ۲۵ سال) نسبت به دو روش دیگر نتایج بهتری از خود نشان داده است. علاوه بر این، بررسی مقادیر RMSE سه روش ناحیه‌بندی Ward's Cluster، L-Moment و CCA، نشان داد که در روش CCA، همگنی نواحی شکل گرفته دقیق‌تر است. دلیل برتری عمده این روش، در نظر گرفتن ماتریس کواریانس است چرا که شکل و اندازه داده‌های چندمتغیره به وسیله ماتریس کواریانس تعیین می‌شود. نتایج حاکی از عملکرد بالای روش CCA در ناحیه‌بندی است و قابلیت بالای روش CCA در تعیین مناطق همگن کاملاً مشهود است. نتایج به دست آمده از این پژوهش با نتایج نوری‌قیداری [۱۹]، اورادا [۲۰] و کواوادیاس و همکاران [۴] همخوانی داشته و می‌توان بیان داشت این روش علاوه بر تعیین نواحی همگن، از پتانسیل کافی برای برآوردهای منطقه‌ای در مناطق فاقد آمار یا دارای طول دوره آماری کوتاه برخوردار است و برآوردهای دقیق‌تر و قابل اعتمادتری، نسبت به روش‌های مرسوم در این زمینه می‌دهد.

کمبود ایستگاه‌های آب‌سنجی، کوتاهی دوره آماری و عدم دقت در برآوردهای ایستگاهی، مهم‌ترین مشکلات در

دلیل برتری روش CCA به نسبت سایر روش‌های تحلیل منطقه‌ای در این است که روش CCA بر خلاف سایر روش‌های متداول ناحیه‌بندی، علاوه بر خصوصیات فیزیوگرافی و اقلیمی حوزه، از خصوصیات جریان نیز استفاده می‌کند و از آنجایی که میزان دقت نتایج تحلیل منطقه‌ای بستگی به همگنی ایستگاه‌های مورد استفاده در تحلیل منطقه‌ای دارد. نتایج به دست آمده از روش CCA از میزان خطای کمتری به نسبت سایر روش‌ها برخوردار است. در انتها باید اشاره کرد که روش‌های به کار گرفته شده در تحلیل منطقه‌ای سیلاب بستگی به شرایط منطقه از نظر نوع و طول دوره آماری، دوره برگشت مورد انتظار و شرایط اقلیمی دارد و تعمیم نتایج آن‌ها نیازمند طول دوره آماری مناسب در منطقه مورد مطالعه است.

برآورد تناوب سیل در منطقه مورد مطالعه است که استفاده از روش‌های منطقه‌ای را ناگزیر می‌سازد. روش تحلیل منطقه‌ای یک روش کارآمد برای برآورد دبی سیل در مناطق فاقد داده یا دارای آمار کوتاه‌مدت می‌باشد. تحلیل منطقه‌ای دارای روش‌های متعددی است که انتخاب هر کدام از این روش‌ها بستگی به شرایط منطقه مورد مطالعه دارد. در این پژوهش عملکرد چهار روش تحلیل منطقه‌ای هیبرید، گشتاورهای خطی، رگرسیون چندمتغیره و CCA مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان داد که روش CCA از قابلیت کافی برخوردار بوده و می‌توان این روش را به‌عنوان روش منطقه‌ای مناسب در برآورد دبی پیک در مناطق فاقد آمار و یا دارای آمار کوتاه‌مدت محدوده ایران مرکزی به کار برد.

References

- [1] Abasizadeh, M. (2005). Regional flood frequency to estimate flood flows in a part of south –west of Iran. M.Sc. thesis, Tarbiat Modares University. (In Persian)
- [2] Adamowski, K. (2000). Regional analysis of annual maximum and partial flood data by nonparametric and L-moments methods. *Journal of Hydrology*, 229, 219-231.
- [3] Badreldin, G.H. and Feng, P. (2012). Regional Rainfall Frequency Analysis for the Luanhe Basin by using L-moments and Cluster Techniques, *APCBEE Procedia*, 1, 126-135.
- [4] Cavadias. G.S., Ouarda, T.B.M.J., Bobee, B. and Girard, C. (2001). A canonical correlation approach to the determination of homogeneous regions for regional flood estimation of ungauged basins, *Hydrologiques Hydrological sciences-de sciences*, 46, 499-512.
- [5] Eng, K., Tasker, G.D. and Milly, P.C.D. (2005). An analysis of region of influence methods for flood regionalization in the Gulf-Atlantic rolling plains, *Journal of the American Water Resource Assos*, JAWRA, 41, 135-143.
- [6] GREHYS (1996). Presentation and review of some methods for regional flood frequency analysis. *Journal of hydrology*, 186, 63-84.
- [7] Gutman. N. B., Hosking, J.R.M. and Wallis, J.R. (1993). Regional precipitation quantile values for the continental United States computed from L-moments, *Journal of Climate*, 6, 2326-2340.
- [8] Hialmerson, H.W. and Thomas, B.E. (1992). New look at regional flood frequency relations for arid land. *Journal of Hydraulic Engineering*, 118, 868-886.
- [9] Jingyi, Z. and Hall, M.J. (2004). Regional Flood Frequency Analysis for the Gan-Ming River Basin in China. *Journal of Hydrology*, 296, 98-117.
- [10] Khalil. B., Ouarda, T.B.M.J. and St-Hilaire, A. (2011). Estimation of water quality characteristics at ungauged sites using artificial neural networks and canonical correlation analysis. *Journal of Hydrology*, 405, 277-287.

- [11] Kjeldsen, T.R., Smithers, J.C. and Schulze, R.E. (2002). Regional Flood Frequency Analysis in the Kwzulu – Natal province ; south Africa. *Journal of Hydrology*, 255, 194-211.
- [12] Madsen, H. and Rosbjerg, D. (1997). Generalized least squares of annual maximum series and partial duration series methods for modeling extreme hydrologic event. *Water Resources*, 33,759-770.
- [13] Malekinezhad, H., Nachtnebel, H.p. and Klik, A. (2011). Comparing the index flood and multiple regression methods using L-moment. *Journal of Physics and Chemistry of the Earth*, 36, 54-60.
- [14] Malekinezhad, H. and Pourmohammadi, S. (2011). Investigating the Peak Flood Estimation Methods in a Regional Analysis Approach for Low-Data Catchments, *Journal of Soil and Water Science*, 1, 115-125.
- [15] Mirzahosseini, M., Mohsenisaravi, M. and Zehtabian, GH. (2010). Regional Analysis of Low Flow by Hybrid Method in Mazandaran Province, *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 1, 1-9.
- [16] Mohammadi, M. 2008. Regional Flood Frequency Analysis using L-moments approach in some watersheds of Isfahan – Sirjan and Yazd - Ardakan basins. M.Sc. thesis, Yazd University. (In Persian)
- [17] Nazemosadat, S.M.J. and Shirvani, A. (2004). The Application of CCA for the Assessment and Capability of SOI and Nion's SST the Prediction of Winter Precipitation over the Caspian Sea Coasts. *Journal sci. & Technol. Agric. & Natur. Resou*, 8, 11-25.
- [18] Nejati, A., Telvari A. R. and Khogini A.V. (2006). Comparison between the two Index Flood and Hybrid Method in Regional Flood Analysis (Case Study in Karkheh River Watershed), *Journal of Agricultural Science*, 1, 83-98.
- [19] Noori Gheidari, M.H. (2012). Identifying the Regional of Ungauged Station for Regional Flood Frequency Analysis Using Canonical Correlation Method, *Journal of Water and Soil*, 26, 943-952.
- [20] Ourada, T.B.M.J., Girard, C., Cavadias, G.S. and Bobee, B. (2001). Regional flood frequency estimation with canonical correlation analysis, *Journal of hydrology*, 254, 157-173.
- [21] Rao, R.A. and Srinivas V.V. (2006). Regionalization of watersheds by hybridcluster Analysis, *Journal of Hydrology*, 318, 37-56.
- [22] Rostami, R. (2013). Regional Flood frequency Analysis based on l-moment Approach (Case Study West Azarbayjan Basins). *Journal of Civil Engineering and Urbanism*, 3, 107-113.
- [23] Rostamikamrood, M., Shamohammadiheydari, Z., Haghightajoo, P. and Moghaddamnia, A. (2011). Regional Flood Frequency Analysis Using the L-Moments Techniques for the watersheds in the Province of Gilan, *Journal of Islamic Azad University Marvdast Branch*, 9, 39-50.
- [24] Sakarasubramaniam, A. and Srinivasan, K. (1999). Investigation and composition of sampling properties of L-Moment and conventional Moments. *Journal of hydrology*, 218, 13-34.
- [25] Seif, A. 2001. An Investigation on Hybrid Method to Estimate Flood Flows in a part of South –West of Iran. M.Sc. thesis, Tarbiat Modares University. (In Persian)
- [26] Singh, C.V. (1999). Principal components of monsoon rainfall in normal, flood and drought years over India. *Int. J. Climatol*, 19, 639-652.
- [27] Stedinger, J.R and Lu, L.H. (1995). Appraisal of regional and index flood quantile estimators. *stochastic Hydrology and Hydraulics*, 9, 49-75.