

## تعیین مناطق مستعد سیل با استفاده از پتانسیل سنجی عوامل مؤثر (مطالعه موردی: رود شاهرود)

مهران مقصودی - دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران  
حسین جوان - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران  
مجتبی رحیمی\* - کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران  
صمد عظیمی‌راد - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۰۹/۱۰      تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۰۲/۲۵

### چکیده

سیلاب و سیل‌زدگی یک پدیده عام در ایران و یکی از زیان‌بارترین رخداد‌های امروزی به‌شمار می‌رود که بیش از هر مخاطره دیگر، جان و مال انسان را به خطر می‌اندازد. هدف این پژوهش شناسایی عوامل مؤثر بر رخداد سیلاب در حوضه رود شاهرود، برای برنامه‌ریزی مناسب محیطی است. برای دستیابی به این هدف، داده‌های دبی و بارش ایستگاه‌های منطقه طی یک دوره مشترک پانزده‌ساله، از سازمان منابع آب ایران و هواشناسی کشور اخذ و تجزیه تحلیل شدند. همچنین یازده خصوصیت فیزیوگرافی زیرحوضه‌ها، از جمله مساحت، تراکم آبراه‌های، ضریب انشعاب و... به کمک نرم‌افزار GIS محاسبه و استخراج شد. برای تعیین عوامل مؤثر و پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌های حوضه آبریز شاهرود، روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای به کار گرفته شد؛ به گونه‌ای که ۲۷ متغیر زیرحوضه‌ها در قالب چهار مؤلفه اصلی خلاصه‌سازی شد. سپس پتانسیل سیل‌خیزی منطقه بر اساس نمرات عاملی هر یک از مؤلفه‌ها، به صورت جداگانه با روش خوشه‌بندی سلسه‌مراتبی وارد تعیین و نقشه‌های خروجی ترسیم شدند. نتایج نشان می‌دهد که مؤلفه‌های دبی با وزن ۴۵/۷ درصد، بارش با ۳۱/۷ درصد، حداکثر بارش تابستانه با ۱۲/۶ درصد و حداکثر بارش فصل زمستان با وزن ۶/۹ درصد، دارای بیشترین تأثیر در ایجاد سیلاب هستند، همچنین برخی از ویژگی‌های فیزیوگرافی حوضه با ادغام در مؤلفه اول و دوم، در تشدید آن مؤثرند.

کلیدواژه‌ها: تحلیل خوشه‌ای، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، حوضه آبریز شاهرود، سیلاب.

## مقدمه

رخدادهای آب‌وهوایی، از جمله خشکسالی، سیل و طوفان، می‌توانند به شدت اکوسیستم‌های طبیعی و جوامع انسانی را تحت تأثیر قرار دهند (لی و همکاران، ۲۰۱۰). در این میان سیلاب را می‌توان یکی از پیچیده‌ترین رخدادهای امروزی برشمرد که بیش از هر بلای دیگر، جان و مال انسان را به مخاطره می‌اندازد (نجفی و نصری، ۱۳۸۸). سیلاب و سیل‌زدگی در ایران یک مسئله عام و رخدادهای آن در اکثر نواحی کشور شایع است (غیور، ۱۳۷۵). سطح مناطق سیل‌خیز کشور حدود ۹۱ میلیون هکتار برآورد شده است؛ به گفته‌ای دیگر، ۵۵ درصد از سطح کشور در تولید رواناب مستقیم و سریع نقش داشته که حدود ۴۲ میلیون هکتار آن دارای شدت سیل‌خیزی متوسط تا خیلی زیاد هستند (شعبانلو، صدقی، ثقفیان و موسوی جهرمی، ۱۳۸۷). بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد، رشد سالانه حوادث سیل طی دوره ۱۳۳۱ تا ۱۳۷۰ حدود ۴ درصد و رشد سالانه خسارت مالی آن حدود ۶ درصد بوده است، از سویی میزان رشد تعداد سیلاب در دهه‌های ۳۰ تا ۷۰، به ترتیب ۱۳۱، ۱۷۵ و ۲۲۹ درصد بوده است (سلیمانی، گنبد، موسوی و خلیقی، ۱۳۸۷). با توجه به مسائل و خسارات ناشی از سیلاب و ضرورت شناخت و پیش‌بینی آن، این پدیده همواره مورد توجه متخصصان قرار دارد که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود. استامی و تانگ (۱۹۹۳) به تحلیل منطقه‌ای سیلاب رودخانه‌های ایالات جورجیای آمریکا پرداختند و با استفاده از روش تحلیل رگرسیون خطی چندمتغیره بین پارامترهای فیزیکی و اقلیمی حوزه آبخیز با دبی‌های سیلابی، مدل‌های برآورد سیلاب منطقه‌ای را ارائه کردند. نتایج آنها نشان داد که سطح حوزه معنادارترین متغیر مرتبط با سیلاب است.

فرج‌زاده (۲۰۰۲) زیرحوضه‌های گاوهرود را برحسب سیل‌خیزی و با استفاده از داده‌های فیزیوگرافی حوضه، داده‌های اقلیمی و عوارض محیطی، مشخص کرده است. تلوری و اسلامی (۲۰۰۲) به تحلیل منطقه‌ای سیلاب در خزر شرقی و غربی بر مبنای پارامترهای فیزیوگرافی و هیدرولوژیکی پرداختند. آنها نتیجه گرفتند که مساحت، شیب متوسط وزنی، ارتفاع متوسط، طول آبراهه اصلی، به همراه تراکم زهکشی و بارش، همبستگی مناسبی با دبی‌های سیلابی دارند. یاکاکیس (۲۰۱۰) در پهنه‌بندی سیلاب دو حوضه یونان، از هیدروگراف واحد بر اساس روش زمان - مساحت استفاده کرده است. وی نتایج پژوهش خود را با داده‌های سیل‌های گذشته مقایسه کرد و به این نتیجه رسید که روش مورد استفاده وی به خوبی توانسته پهنه‌های سیلابی را مشخص کند. تیلانگواتی، تامیلنتی، رامو و باسکاران (۲۰۱۱) با استفاده از GIS به پهنه‌بندی حوضه پاپاناسام<sup>۱</sup> در تامیل از نظر سیل‌خیزی پرداختند و این حوضه را به پنج گروه سیل‌خیز تقسیم کردند. نوری و همکاران (۲۰۱۱) از مدل SVM<sup>۲</sup> و روش‌های PCA<sup>۳</sup>، GT<sup>۴</sup> و FS<sup>۵</sup> برای پیش‌بینی جریان آبراهه‌ها استفاده کردند و سپس این روش‌ها را با هم مورد مقایسه قرار دادند. نتیجه پژوهش آنها نشان داد که استفاده از مدل‌های PCA-SVM و GT-SVM بهتر از مدل اصلی SVM است.

1. Papanasam
2. Support Vector Machine
3. Principal Component Analysis
4. Gamma Test
5. Forward Selection

محسنی و سلیمانی (۲۰۱۰) با استفاده از مدل HEC-RAS و GIS، پهنه‌های سیلابی رودخانه نکا را در دوره‌های بازگشت مختلف، مشخص کردند.

قاسم‌پور (۱۳۷۴) در بررسی مدل منطقه‌ای مناسب برای برآورد حداکثر سیلاب سالانه در منطقه غرب مازندران نتیجه گرفت، مساحت مهم‌ترین پارامتر مؤثر در تولید سیلاب بوده است.

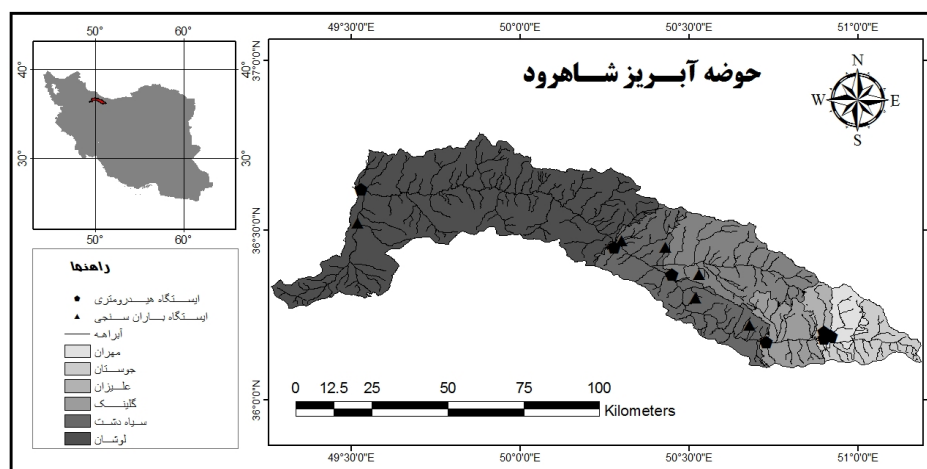
داودی راد (۱۳۷۸) با استفاده از روش‌های تحلیل عاملی، تحلیل خوشه‌ای و توابع متمایزکننده، عوامل مستقل مؤثر بر حداکثر سیلاب لحظه‌ای در نواحی مرکزی کشور را مشخص کرد.

نجفی و نصری (۱۳۸۸) با استفاده از روش تحلیل عاملی، عوامل مؤثر بر سیلاب حوضه اصفهان - سیرجان را مورد بررسی قرار داده و زمان تمرکز، شیب و تراکم زهکشی را مؤثرترین عوامل در ایجاد سیلاب این حوضه تعیین کردند.

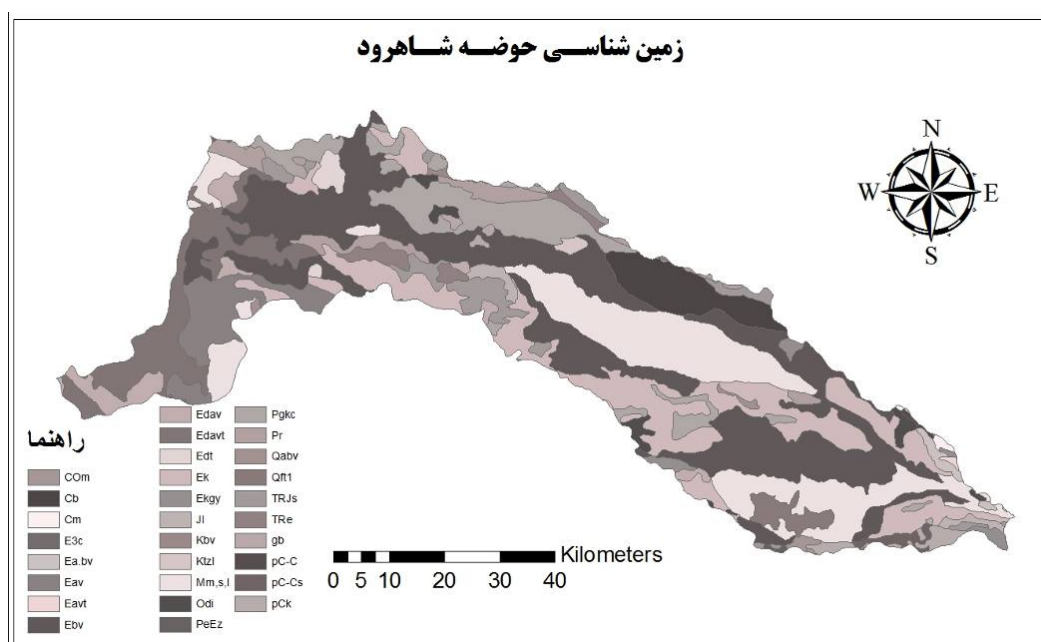
امیدوار و کیانفر (۱۳۸۹) حوضه آبریز کنجانچم را از نظر سیل‌خیزی و با استفاده از روش تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای، پهنه‌بندی کردند. آنها به ترتیب عوامل شکل، آبراهه، شیب، زهکشی و رواناب را مهم‌ترین عوامل سیل‌خیزی در حوضه مورد مطالعه می‌دانند و منطقه را به پنج دسته، از نظر سیل‌خیزی تقسیم کردند.

درخشان (۱۳۸۹) با مطالعه روی حوضه کسلیان و با استفاده از مدل HEC-HMS و GIS، پتانسیل سیل‌خیزی منطقه را بررسی کرده و به این نتیجه رسیده است که زیرحوضه‌هایی با پوشش جنگلی، کمترین میزان رواناب و پتانسیل سیل‌خیزی را دارند و بیشترین پتانسیل تولید رواناب در زیرحوضه‌هایی است که دارای اراضی وسیع زراعتی و گسترش خاک‌های گروه هیدرولوژیک C هستند. نساجیان زواره، وفاخواه و تلوری (۱۳۸۹) با تجزیه و تحلیل منطقه‌ای سیلاب در بخشی از حوضه مرکزی ایران و روش تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای، حوضه‌های همگن را مشخص کردند. نتایج آنها نشان داد که سه منطقه همگن در حوضه آبریز مرکزی وجود دارد و بهترین دبی شاخص، دبی با دوره بازگشت دو سال است.

با در نظر داشتن این واقعیت که منطقه‌بندی و شناخت نواحی همگن از نیازهای اولیه برنامه‌ریزی است، انجام این پژوهش ضرورت می‌یابد و هدف از آن، شناسایی عوامل مؤثر بر رخداد سیلاب در حوضه رود شاهرود و پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی منطقه مورد مطالعه است. نتایج این کار، قابلیت مقایسه با کارهای دیگر محققان در سایر حوضه‌های کشور را دارد. حوضه آبخیز شاهرود از زیرحوضه‌های غربی سفیدرود است و زیرحوضه‌های جویستان، الموت و... را شامل می‌شود. وسعت آن ۴۸۷۱ کیلومتر است که بخش اصلی آن در استان قزوین واقع شده و استان‌های البرز، زنجان و گیلان را نیز دربرمی‌گیرد (شکل ۱). آب‌وهوای منطقه بیشتر از نوع کوهستانی با زمستان‌های سرد و تابستان‌های معتدل است. از نظر زمین‌شناسی نیز با توجه به گوناگونی ترکیب سنگ‌ها و نهشته‌ها، می‌توان پی برد که نوع و شکل فرسایش و گسترش سنگ‌ها یکسان نیستند. آنچنان که سنگ‌های سست بیشتر سنگ‌های مارنی - شیلی هستند که نواحی پست دره‌های پهن و نسبتاً عرضی را پدید آورده‌اند و سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی و آذر آواری، بلندی‌های منطقه را شکل داده‌اند (شکل ۲). دره‌های پدید آمده در این نواحی، معمولاً تنگ و ژرف بوده و شیب توپوگرافی آنها گاهی از ۷۰ درجه تجاوز می‌کند.



شکل ۱. نقشه حوضه آبریز شاهرود و ایستگاه‌های هیدرومتری و باران سنجی



شکل ۲. نقشه زمین شناسی حوضه آبریز شاهرود

## مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش از روش‌های پیشرفته آماری استفاده شده است. بدین منظور ابتدا داده‌های روزانه و ماهانه دبی کلیه ایستگاه‌های آب‌سنجی منطقه از سازمان مدیریت آب ایران دریافت و با توجه به پراکنش ایستگاه‌ها و کیفیت داده‌ها، هفت ایستگاه طی دوره مشترک پانزده ساله (۱۳۷۰-۱۳۸۵) انتخاب شد. داده‌های روزانه و ماهانه بارش نیز از سازمان هواشناسی کشور اخذ و پس از تبدیل به تاریخ شمسی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. سپس در ایستگاه‌های منتخب، یازده پارامتر فیزیوگرافی حوضه شامل: مساحت، متوسط ارتفاع، میانگین شیب، تراکم آبراهه، نسبت انشعاب، طول بزرگترین آبراهه، طول و عرض مستطیل معادل، نسبت کشیدگی، زمان تمرکز و شیب طولی، با استفاده از مدل رقومی

زمین (DEM) ۳۰ متر و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰: ۱ سازمان زمین‌شناسی، به کمک نرم‌افزار ArcGis و ابزار الحاقی ArcHydroTools محاسبه و استخراج شد. این ارقام به همراه میانگین و حداکثر دبی فصلی و میانگین و حداکثر بارش فصلی، به منزله پارامترهای انتخابی مورد استفاده قرار گرفتند. علت انتخاب پارامترهای ذکر شده، دخالت عوامل هیدرولوژی، اقلیم و توپوگرافی و زمین‌شناسی در سیلاب است. در ادامه برای کاهش تعداد متغیرها و استخراج عوامل اصلی، از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. در محاسبه مؤلفه‌های اصلی و تحلیل عوامل، از دو ارزش مهم به نام‌های مقادیر ویژه و بردارهای ویژه استفاده می‌شود. مقدار ویژه از مجموع مجذورات ضرایب همبستگی همه متغیرها با یک عامل معین به دست می‌آید. عدد محاسبه شده، ارزش ویژه عامل مورد نظر است که قدرت آن عامل را از نظر تبیین واریانس مجموعه متغیرها نشان می‌دهد. بردار ویژه نیز، ستونی از وزن‌هاست که هر یک از آنها برای یکی از متغیرهای ماتریس به کار می‌رود. پس از انتخاب پارامترها و تنظیم حالت مناسب که بستگی به هدف پژوهش دارد (در اینجا با توجه به نیاز پهنه‌بندی زیرحوضه‌ها از آرایه R استفاده شده است) مراحل زیر طی می‌شود.

استخراج بردار  $(u_{a1})$  که از جمع ضرایب هر ستون ماتریس همبستگی به دست می‌آید. استخراج اولین بردار آزمایشی  $(v_{a1})$  که از رابطه‌های ۱ و ۲ حاصل می‌شود.

$$v_{a1} = \frac{u_{a1}}{\lambda_{a1}} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$\lambda_{a1} = \sqrt{\sum u_{a1}^2} \quad \text{رابطه ۲}$$

که  $\lambda_{a1}$  مقدار ویژه است. استخراج بردار  $(u_{a1})$  که از ضرب عناصر بردار آزمایشی اول با ردیف‌های ماتریس همبستگی یا به گفته دیگر از رابطه ۳ به دست می‌آید.

$$u_{a2} = v_{a1} \times R \quad \text{رابطه ۳}$$

استخراج بردار آزمایشی دوم  $(v_{a2})$  که با رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

$$v_{a2} = \frac{u_{a2}}{\lambda_{a2}} \quad \text{رابطه ۴}$$

استخراج اولین مؤلفه، به طوری که بعد از ایجاد همگرایی میان بردارهای آزمایشی، اولین بردار مشخصه ماتریس و اولین مقدار ویژه ماتریس به دست می‌آید که با ضرب آنها بار گویه‌ها استخراج می‌شود و رابطه ریاضی آن به قرار زیر است (رابطه ۵).

$$F = v_{a2} \times \sqrt{\lambda_{a2}} \quad \text{رابطه ۵}$$

در این رابطه؛ F: بار گویه (بار عاملی)؛  $v_{a2}$ : اولین بردار مشخصه و  $\lambda_{a2}$ : اولین مقدار ویژه است. مؤلفه‌های بعدی نیز به همان شیوه مؤلفه اول به دست می‌آید، با این تفاوت که بردارها و مقادیر ویژه از ماتریس باقی‌مانده استخراج می‌شوند. پس از استخراج تمامی مؤلفه‌ها، برای به دست آوردن مؤلفه‌هایی با بار گویه بالا و متمایز از یکدیگر، لازم است که ماتریس عامل‌ها چرخش داده شود (عزیزی و رضیئی، ۱۳۸۶).

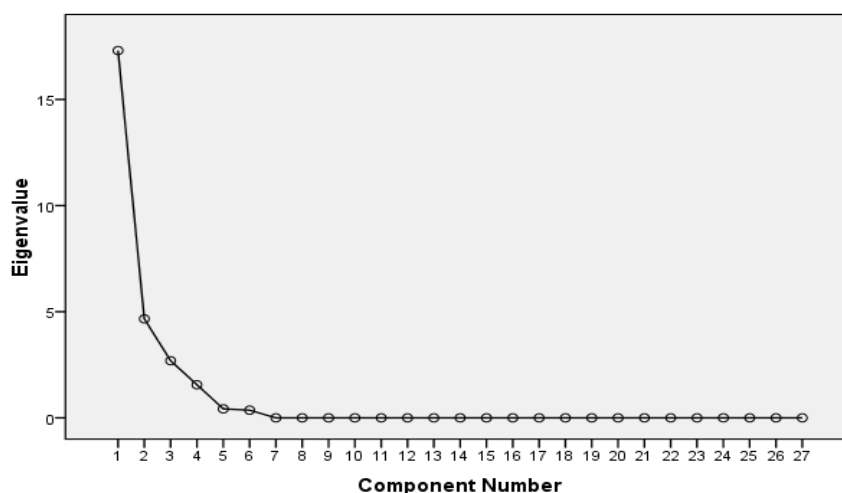
در این پژوهش نیز، پس از انجام روش‌های مختلف چرخش عاملی و مقایسه نتایج آنها با یکدیگر از روش واریماکس استفاده شد. در آخر با روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی «وارد»، ایستگاه‌ها بر اساس نمرات مؤلفه‌های انتخابی به دسته‌های همگن گروه‌بندی شدند. تمامی مراحل ذکر شده با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS انجام شده است.

### یافته‌های پژوهش

هدف اصلی روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، یافتن ترکیباتی از متغیرهای مورد مطالعه است که به کمک آنها بتوان شاخص‌های مستقلی را استخراج کرد (فرج‌زاده، ۱۳۸۸: ۱۰۹). این تحلیل از جمله روش‌های چندمتغیره است که در آن متغیرهای مستقل و وابسته مطرح نیستند؛ زیرا این روش جزء تکنیک‌های هم‌وابسته محسوب می‌شود و کلیه متغیرها نسبت به هم وابسته لحاظ شده و تلاش می‌شود تا تعداد زیادی متغیر در چند مؤلفه خلاصه شوند (کلانتری، ۱۳۸۷: ۲۹۹). جدول ۱ نتایج حاصل از اجرای این روش با مدل R بعد از چرخش به روش واریماکس را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول و نمودار غربالی مربوط به آن (شکل ۳)، می‌توان دریافت که مؤلفه اول تا چهارم به ترتیب ۴۵/۷، ۳۱/۷، ۱۲/۶ و ۶/۹ درصد از واریانس کل را توضیح می‌دهند که رقم کاملاً مطلوبی است.

جدول ۱. مقدار ویژه و واریانس تبیین شده به وسیله مؤلفه‌های چرخش داده شده

مؤلفه	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی
۱	۱۸/۶	۴۵/۷	۴۵/۷
۲	۴/۹	۳۱/۸	۷۷/۵
۳	۲/۸	۱۲/۶	۹۰/۱
۴	۱/۷	۶/۹	۹۷/۰۹
ادامه تا ۲۷	-		



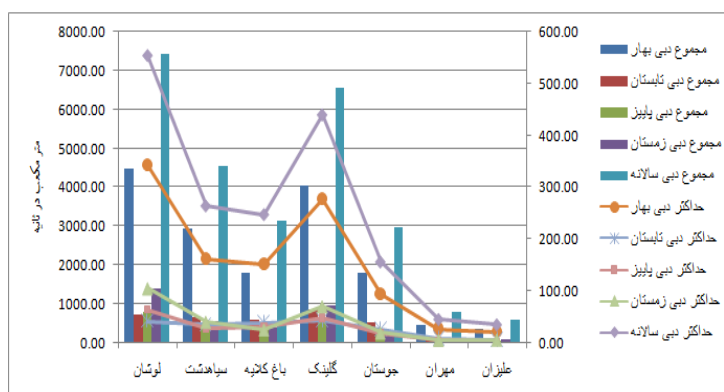
شکل ۳. نمودار غربالی مؤلفه‌های استخراجی

جدول ۲، ارتباط هر یک از متغیرهای مورد مطالعه با چهار مؤلفه اصلی را نشان می‌دهد. به‌طور واضحی مشخص است که متغیرهای هیدرو اقلیمی، نقش اصلی بروز سیلاب در منطقه را دارند و خصوصیات فیزیکی حوضه نیز با ادغام در این متغیرها به جاری شدن سیل کمک می‌کنند. با توجه به این جدول، مهم‌ترین مؤلفه انتخابی را می‌توان دبی (به‌ویژه دبی دوره گرم سال که از ذوب برف ارتفاعات حاصل می‌شود) نامید.

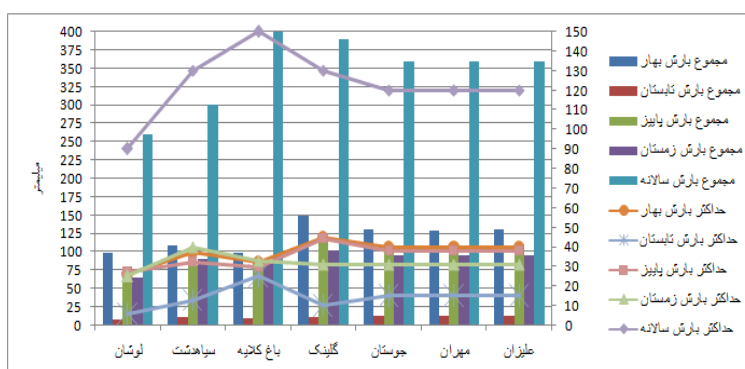
جدول ۲. نمرات عاملی (بار گویه) پارامترهای چرخش داده شده

پارامتر	مؤلفه اول (دبی)	مؤلفه دوم (بارش)	مؤلفه سوم (حداکثر بارش روزانه تابستان)	مؤلفه چهارم (حداکثر بارش روزانه زمستان)
دبی تابستان	۰/۹۷۳	-۰/۰۳۹	۰/۱	۰/۱۹۷
دبی بهار	۰/۹۶۳	-۰/۱۳۶	-۰/۲۲۶	۰/۰۰۶
دبی پاییز	۰/۹۵۴	-۰/۲۱۹	-۰/۱۵	-۰/۱۳۴
حداکثر دبی بهار	۰/۹۴۲	-۰/۲۳۳	-۰/۱۴۱	-۰/۱۵۶
حداکثر دبی پاییز	۰/۹۳۵	-۰/۲۷۸	-۰/۰۹	-۰/۱۸۶
حداکثر دبی تابستان	۰/۹۳۴	-۰/۲۱۷	۰/۲۳۱	۰/۱۴۸
دبی زمستان	۰/۸۹۴	-۰/۲۵۶	-۰/۲۸۸	-۰/۲۲۴
شیب طولی	-۰/۸۷۷	۰/۲۴۱	۰/۱۸۱	-۰/۲۷۴
حداکثر دبی زمستان	۰/۸۷۵	-۰/۲۶۴	-۰/۳۱۸	-۰/۲۳۳
تراکم آبراهه	۰/۸۵۱	-۰/۳۰۶	-۰/۰۴۵	-۰/۱۵۸
نسبت انشعاب	۰/۷۳۴	۰/۱۵۹	۰/۴۴۴	۰/۳۶۴
میانگین شیب	-۰/۷۰۱	۰/۴۶۷	۰/۴۳۵	۰/۰۴۱
عرض مستطیل معادل	۰/۶۹۶	-۰/۴۷۵	-۰/۲۰۱	۰/۴۹۷
حداکثر بارش پاییز	-۰/۱۱۹	۰/۹۸۷	-۰/۰۲۶	-۰/۰۳۵
متوسط بارش بهار	-۰/۰۹۷	۰/۹۷۴	-۰/۱۴۹	-۰/۱۲
حداکثر بارش بهار	-۰/۲۱۷	۰/۹۴۳	-۰/۰۰۹	۰/۲۲۵
متوسط بارش پاییز	-۰/۱۹۴	۰/۹۳۵	۰/۱۱۷	-۰/۲۷۱
میانگین ارتفاع	-۰/۴۵۳	۰/۸۵۸	۰/۱۹۸	۰/۰۱۳
متوسط بارش زمستان	-۰/۳۳۹	۰/۸۴۸	۰/۲۵	۰/۲۹۴
متوسط بارش تابستان	-۰/۶۳۳	۰/۶۹۵	-۰/۱۷۷	۰/۲۲۴
بزرگترین آبراهه	۰/۵۸۲	-۰/۶۶۵	-۰/۴۶۲	-۰/۰۶۵
مساحت حوضه	۰/۵۹۵	-۰/۶۴۹	-۰/۴۶۵	-۰/۰۸۲
نسبت کشیدگی	۰/۰۷۹	۰/۶۴۸	۰/۶۳۲	۰/۱۲۷
زمان تمرکز	۰/۵۹۳	-۰/۶۳۲	-۰/۴۹۴	-۰/۰۴۳
طول مستطیل معادل	۰/۶۳۳	-۰/۶۵۶	۰/۳۴۹	-۰/۰۲۰۶
حداکثر بارش تابستان	-۰/۱۲۸	-۰/۳۲۵	۰/۹۲۲	۰/۰۷۱
حداکثر بارش زمستان	-۰/۱۸۲	۰/۰۵۹	۰/۱۲	۰/۹۵۴

مؤلفه دوم را می‌توان بارش نامید که پس از دبی، نقش مهمی در سیل‌زدگی منطقه دارد. حداکثر بارش روزانه فصل تابستان با توجه به ویژگی رگباری خود و نفوذپذیری اندک و شیب زیاد زمین، به‌همراه میزان بالای حداکثر بارش روزانه زمستان با توجه به کوهستانی بودن، دمای پایین و خصوصیات زمین‌شناختی حوضه، به‌ترتیب مؤلفه‌های سوم و چهارم هستند. پهنه‌بندی خطر رخداد سیل با توجه به نمرات عاملی مؤلفه اول (دبی) در شکل ۶- الف نشان داده شده است. طبق محاسبات انجام شده زیر، حوضه‌های گلینگ و به‌ویژه لوشان با توجه به قرارگیری در پایین‌دست زیرحوضه‌های مرتفع‌تر و به‌دنبال آن، حجم بالای دبی (شکل ۴) از بیشترین پتانسیل سیل‌خیزی برخوردارند. تراکم آبراهه‌ای بیشتر این دو زیرحوضه نیز، نشانی از نفوذپذیری کمتر زمین است که به نوبه خود نقش مؤثری در افزایش دبی و سیل‌خیزی دارد. زیرحوضه‌های مهران و علیزان، به‌دلیل وسعت کوچک و تراکم اندک آبراهه‌ای، دارای کمترین مقدار دبی و در پی آن، کمترین پتانسیل سیل‌خیزی از نظر مؤلفه اول را دارند.



شکل ۴. نمودار مقادیر مجموع دبی سالانه و فصلی و حداکثر سالانه و فصلی

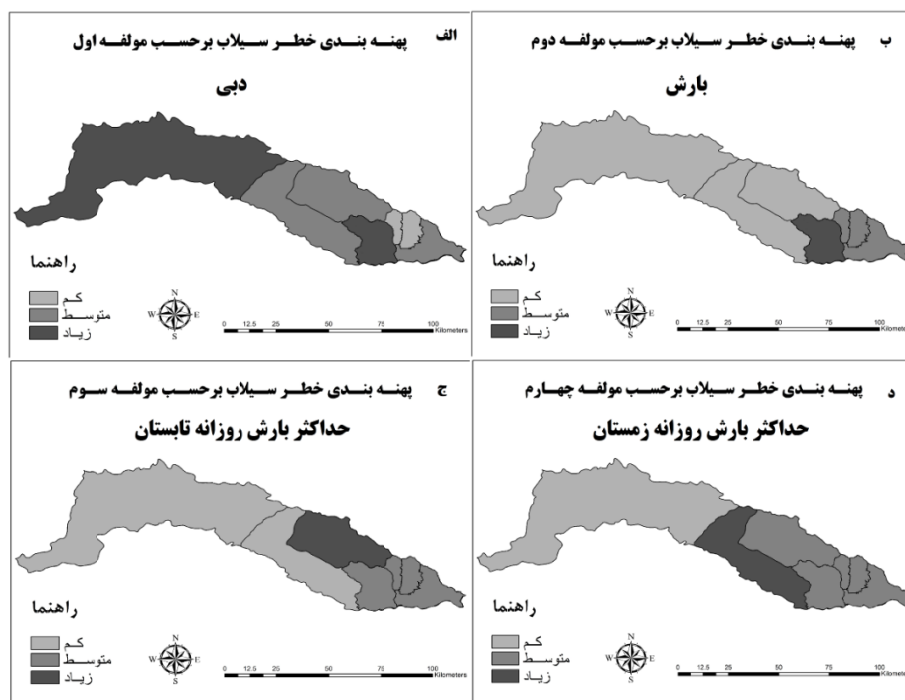


شکل ۵. نمودار مقادیر مجموع بارش سالانه و فصلی و حداکثر سالانه و فصلی

شکل ۶- ب امکان سیل‌زدگی منطقه بر اساس مؤلفه دوم (بارش) را نشان می‌دهد. زیرحوضه گلینگ و پس از آن زیرحوضه‌های مهران، علیزان و جوستان، با توجه به ارتفاع زیادتر و دریافت بارش فصلی و سالانه بیشتر، نسبت به سایر زیرحوضه‌های منطقه (شکل ۵)، پتانسیل سیل‌خیزی بیشتری را نشان می‌دهند. برخی خصوصیات فیزیکی زیرحوضه‌های شرقی منطقه (مهران، علیزان و جوستان)، از جمله مساحت، بسیار کمتر بوده و به‌دنبال آن طول کمتر مستطیل معادل حوضه و زمان تمرکز پایین آنها نیز، تأثیر بسزایی در خروجی بارش و سیل‌خیزی آنها دارد. حوضه لوشان نیز به‌دلیل



شرایط عکس ذکر شده در بالا؛ یعنی ارتفاع و بارش کمتر، طولیل بودن و زمان بالای تمرکز، از کمترین پتانسیل سیل‌خیزی برخوردار است.



شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب بر حسب مؤلفه‌ها

شکل ۶-ج، پتانسیل سیل‌خیزی منطقه را با توجه به مؤلفه سوم (حداکثر بارش تابستان) نشان می‌دهد. حوضه باغ‌کلایه، به دلیل قرار داشتن در حصار کوهستانی و صعود مکانیکی سریع‌تر هوا، از بیشترین میزان حداکثر بارش تابستانی در منطقه برخوردار است. بعد از باغ‌کلایه حوضه‌های گلینک، مهران، جوستان و علیزان قرار دارند. ویژگی رگباری بارش‌های تابستانه مهم‌ترین دلیل جاری شدن سیلاب است. ایستگاه لوشان نیز به دلیل واقع شدن در انتهای حوضه و کاهش ارتفاع، کمترین میزان بارش را به خود اختصاص داده است. مؤلفه چهارم سیل‌خیزی منطقه بر اساس حداکثر بارش زمستانی است (شکل ۶-د). در این فصل با توجه به کاهش دما و تبخیر و تعرق، ذخیره رطوبتی خاک بالا و نفوذپذیری کم است، خاک مستعد این است که حداکثر میزان بارش را به رواناب تبدیل کند. با توجه به مؤلفه چهارم ایستگاه سیاهدشت و باغ‌کلایه در رتبه اول و دوم، و ایستگاه لوشان در آخرین رتبه قرار می‌گیرد.

## بحث و نتیجه‌گیری

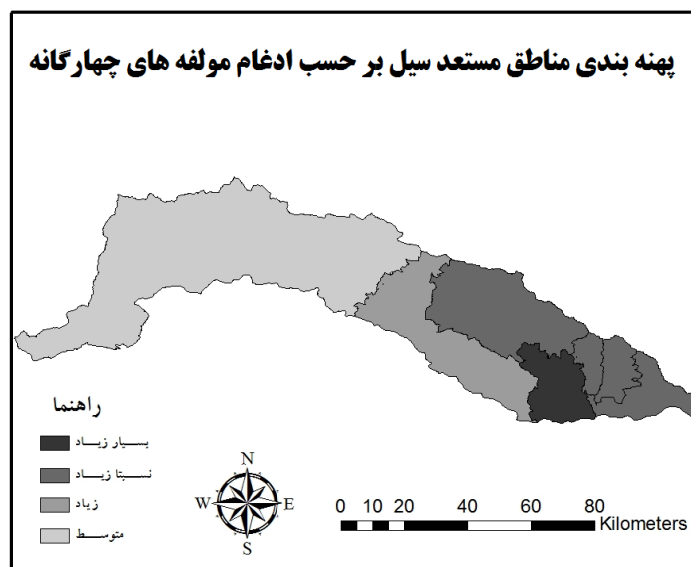
هدف اصلی این پژوهش شناسایی عوامل مؤثر و پتانسیل‌سنجی نواحی مستعد وقوع سیلاب در حوضه شاهرود است. ۲۷ پارامتری که در این پژوهش مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت، در چهار مؤلفه با ۹۷/۰۹ درصد از واریانس کل، خلاصه شده است. مؤلفه اول دبی زیرحوضه‌ها با وزن ۴۵/۷ درصد و مقدار ویژه ۱۸/۶ است که با شیب، تراکم زهکشی و نسبت انشعاب در ارتباط است. این مؤلفه در تمامی فصول، به‌ویژه دوره گرم سال، به دلیل ذوب برف در ارتفاعات تأثیر

بسزایی در ایجاد سیل دارد. براساس محاسبات انجام شده، زیرحوضه‌های گلینگ و به‌ویژه لوشان، با توجه به قرارگیری در پایین‌دست زیرحوضه‌های مرتفع‌تر، از حجم بالای دبی برخوردارند. زیرحوضه‌های مهران و علیزان به‌دلیل وسعت کوچک و تراکم اندک آبراهه‌ای، کمترین مقدار دبی را دارند. با توجه به ادغام بعضی از خصوصیات فیزیوگرافی حوضه (جدول ۲) در مؤلفه دبی، پتانسیل خیزی در همه زیرحوضه‌ها بالا است. برای نمونه، تراکم آبراهه‌ای بیشتر دو زیرحوضه گلینگ و لوشان می‌تواند نشانی از نفوذپذیری کمتر زمین باشد که به نوبه خود نقش مؤثری در سیل‌خیزی دارد. از سوی دیگر، نسبت انشعاب کمتر و به‌خصوص شیب بیشتر در زیر حوضه‌هایی چون مهران، علیزان، باغ کلایه و جویستان، با وجود دبی کمتر سبب سیل‌خیزی آنها می‌شوند. در مجموع با توجه به اینکه مقادیر دبی فصلی و ماهانه در مؤلفه اول، وزن بیشتری را نسبت به خصوصیات فیزیوگرافی حوضه به خود اختصاص داده‌اند، زیرحوضه‌های گلینگ و لوشان از پتانسیل سیل‌خیزی خیلی زیاد، زیرحوضه‌های جویستان، سیاهدشت و باغ کلایه پتانسیل زیاد و زیرحوضه‌های مهران و علیزان از پتانسیل نسبتاً زیاد برخوردارند.

دومین مؤلفه (بارش) با قدرت تبیین  $31/8$  درصد از واریانس کل و مقدار ویژه  $4/9$  بارش است. شاهرود به‌دلیل قرارگیری در منطقه کوهستانی البرز و داشتن ارتفاعاتی همچون علم کوه و سیاهلان، بارش قابل توجهی دریافت می‌کند که با توجه به جنس سنگ منطقه و نفوذپذیری کم، بیشتر بارش به رواناب تبدیل می‌شود. زیرحوضه گلینگ و پس از آن زیرحوضه‌های مهران، علیزان و جویستان، با توجه به ارتفاع بیشتر و دریافت بارش فصلی و سالانه بیشتر نسبت به سایر زیرحوضه‌های منطقه، پتانسیل سیل‌خیزی بیشتری را نشان می‌دهند. برخی خصوصیات فیزیکی زیرحوضه‌های شرقی منطقه (مهران، علیزان و جویستان) از جمله مساحت، بسیار کمتر و به‌دنبال آن طول کمتر مستطیل معادل حوضه و زمان تمرکز پایین آنها نیز تأثیر بسزایی در خروجی بارش و سیل‌خیزی آنها دارد. حوضه لوشان نیز به‌دلیل شرایط عکس ذکرشده؛ یعنی ارتفاع و بارش کمتر، طولیل بودن و زمان بالای تمرکز، از کمترین پتانسیل سیل‌خیزی برخوردار است.

حداکثر بارش تابستانی با واریانس  $12/6$  درصد و مقدار ویژه  $2/8$  مؤلفه سوم است. با توجه به موقعیت حوضه مطالعاتی و از آنجا که در نیمکره شمالی دامنه‌های جنوبی و پرشیب نسبت به دامنه‌های شمالی و دشت‌های مجاور، تابش بیشتر و به‌دنبال آن دمای بالاتری دارند، شرایط مناسبی برای رخداد بارش‌های رگباری از طریق سازوکارهای همرفت دامنه‌ای و کوهستانی را فراهم می‌کند که دلیل توانایی ایجاد سیلاب در منطقه است. حوضه‌های باغ کلایه، گلینک، مهران، جویستان و علیزان، به‌دلیل ارتفاع بالا و صعود کوهستانی، شیب بیشتر و زاویه تابشی عمودتر، از بیشترین میزان حداکثر بارش تابستانی در منطقه برخوردارند. ایستگاه لوشان با توجه واقع شدن در انتهای حوضه و کاهش ارتفاع و شیب کمتر زمین، از سازوکار همرفتی ضعیف‌تر برخوردار بوده و کمترین میزان بارش را به خود اختصاص داده است.

حداکثر بارش زمستانی با  $6/9$  درصد از واریانس کل و مقدار ویژه  $1/7$ ، مؤلفه چهارم محسوب می‌شود. در این فصل با توجه کاهش دما و تبخیر و تعرق، ذخیره رطوبتی خاک بالا و نفوذپذیری کم است، خاک مستعد این است که حداکثر میزان بارش را به رواناب تبدیل کند. ایستگاههایی مانند سیاهدشت و باغ کلایه، به‌دلیل قرار داشتن در حصار کوهستانی و صعود مکانیکی سریع هوا، دمای پایین و اشباع سریع‌تر هوا در رتبه اول و دوم و ایستگاه لوشان در آخرین رتبه قرار می‌گیرد. در نهایت نقشه پتانسیل سیل منطقه مورد مطالعه با توجه به چهار مؤلفه استخراجی در شکل ۷ آورده شده است.



شکل ۷. نقشه پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی بر حسب ادغام مؤلفه های چهار گانه

یافته های این پژوهش با نتایج امیدوار و همکاران (۱۳۸۹) در زون زاگرس چین خورده و نجفی و نصری (۱۳۸۸) در زون ایران مرکزی متفاوت است؛ آنها رخداد سیلاب را بیشتر در ارتباط با خصوصیات فیزیوگرافی حوضه، مانند شکل، تراکم آبراهه ای و تراکم زهکشی می دانند. دلیل این امر ویژگی زمین شناختی البرز و قابلیت نفوذ کمتر منطقه به دلیل برتری سازندهای آذرین و دگرگونی (شکل ۲) غیر قابل نفوذ نسبت به سازندهای نفوذپذیری چون آهک (امیدوار و کیان فر، ۱۳۸۹) است که مسبب نقش بیشتر پارامترهای هیدرواقليمی در ایجاد سیلاب حوضه شاهرود شده است.

## منابع

- امیدوار، ک. و کیان فر، آ. (۱۳۸۹). پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی حوضه آبریز کنجانچم. پژوهش های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۱، شماره ۷۲، صص. ۷۳-۹۰.
- داودی راد، ع. ا. (۱۳۷۸). بررسی روابط بین عوامل مورفومتری حوضه و دبی های سیلابی در حوزه های آبخیز مرکزی ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- درخشان، ش. (۱۳۸۹). مطالعه پتانسیل سیل خیزی حوضه آبخیز کسپلیان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال سیزدهم، شماره ۱۶، صص. ۵۱-۶۳.
- سازمان نقشه برداری کشور، نقشه های زمین شناسی حوضه رود شاهرود در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰.
- سازمان مدیریت منابع آب ایران (۱۳۷۰-۱۳۸۵). داده های ماهانه و روزانه ایستگاه های هیدرومتری حوضه رود شاهرود.
- سازمان هواشناسی کشور (۱۳۷۰-۱۳۸۵). داده های ماهانه و روزانه بارش ایستگاه های باران سنجی حوضه رود شاهرود.
- سلیمانی، ک.؛ گنبد، م. ب.؛ موسوی، س. ر. و خلیقی، ش. (۱۳۸۷). پتانسیل تولید سیل در حوضه های آبخیز با استفاده از مدل HEC-HMS در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه معرف کسپلیان)، پژوهش های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۰، شماره ۶۵، صص. ۵۱-۶۰.

- شعبانلو، س.؛ صدقی، ح.؛ تفتیان، ب. و موسوی چهارمی، ح. (۱۳۸۷). پهنه‌بندی سیلاب در شبکه رودخانه‌های استان گلستان با استفاده از GIS. آب ایران، سال دوم، شماره ۳، صص. ۲۲-۱۱.
- عزیزی، ق. و رضیعی، ط. (۱۳۸۶). منطقه‌بندی رژیم بارش غرب ایران با استفاده از روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی و خوشه‌بندی. تحقیقات منابع آب ایران، سال سوم، شماره ۲، صص. ۴۹-۴۶.
- غیور، ح. (۱۳۷۵). سیل و مناطق سیل‌خیزی در ایران. تحقیقات جغرافیایی، دوره ۳۸، شماره ۴۰، صص. ۱۲۰-۱۰۱.
- فرج‌زاده، م. (۱۳۸۸). تکنیک‌های اقلیم‌شناسی. تهران: انتشارات سمت.
- قاسم‌پور، ف. (۱۳۷۴). تجزیه و تحلیل منطقه‌ای سیلاب در غرب مازندران (چالوس - رامسر)، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس.
- کلانتری، خ. (۱۳۸۷). پردازش و تحلیل داده‌ها در تحقیقات اجتماعی و اقتصادی. تهران: نشر فرهنگ صبا.
- نجفی، ع. و نصری، م. (۱۳۸۸). عوامل مؤثر در سیلاب حوضه آبخیز اصفهان - سیرجان به روش تحلیل عاملی، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال بیستم، شماره ۴، صص. ۱۱۸-۱۰۱.
- نساچیان زواره، م. ح.؛ وفاخواه، م. و تلوری، ع. (۱۳۸۹). تجزیه و تحلیل منطقه‌ای سیلاب در بخشی از حوزه آبخیز مرکزی، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. سال چهارم، شماره ۱۱، صص. ۵۲-۴۹.
- Diakakis, M., 2010, **A Method for Flood Hazard Mapping Based on Basin Morphometry: Application in Two Catchments in Greece**, Natural Hazards, Vol. 56, No. 3, PP. 803-814.
- Farajzadeh, M., 2002, **Flood Susceptibility Zonation of Drainage Basins using Remote Sensing & GIS Case Study Area: Gaveh rod-Iran**, Geoscience and Remote Sensing Symposium, Vol. 6, PP. 3341-3342.
- Li, J., Cook, E.R., Chen, F., Gou, X., Darrigo, R., Yung, Y., 2010, **An Extreme Drought Event in the Central Tien Shan Area in the Year 1945**, Arid Environments, Vol. 74, No. 10, PP. 1225-1231.
- Mohseni, M. and Soleimani, K., 2010, **Flood Hazard Zonation Using Hydrolic Model of HEC-RAS in GIS**, Natural Hazards Management, GIS Development Publication, Canada.
- Noori, R., Karbassi, A.R., Moghaddamnia, A., Han, D., Zokaie-Ashtiani, M.H., Farokhnia, A. and Ghafari Gousheh, M., 2011, **Assessment of Input Variables Determination on the SVM Model Performance Using PCA, Gamma Test, and Forward Selection Techniques for Monthly Stream Flow Prediction**, Hydrology, Vol. 401, No.1, PP. 177- 189.
- Stamy T.C. and Hess, G.W., 1993, **Techniques for Estimating Magnitude and Frequency of Floods in Rural Basins in Georgia**, Water Resources Investigation Report, 93- 4016, USGS Publication, USA.
- Telvari A.R., and Islami A.R., 2002, **Regional Flood Frequency in North Basins of Iran**, in: Proceedings of International Conference on Flood Estimation, Berne, Switzerland, March 6-8, 2002: 717-727.
- Thilagavathi, G., Tamilenth, S., Ramu, C. and Baskaran, R., 2011, **Application of Gis in Flood Hazard Zonation Studies in Papanasam Taluk, Thanjavur District, Tamilnadu**, Advances in Applied Science Research, Vol. 2, No. 3, PP. 574-585.