



دوره‌ی ۳۴، شماره‌ی ۱، شماره‌ی پیاپی ۱۳۰، بهار ۱۴۰۰، صفحه‌های ۷۳-۵۹  
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2020.342597.1330

# پژوهش‌های آبخیزداری

## تحلیل عامل‌های مؤثر بر شدت سیل‌خیزی در ایران

رحیم کاظمی

(نویسنده‌ی مسئول) \* استادیار پژوهش‌شکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،

تهران

جهانگیر پرهمت

استاد پژوهش‌شکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

\*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: ra\_hkazemi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۲۵ فروردین ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: ۳۰ شهریور ۱۳۹۹

### چکیده

شناخت پدیده‌ی سیل و عامل‌های مؤثر بر آن پیش‌نیاز مهار و مدیریت کردن آن است. این پدیده که متأثر از عامل‌های آب‌شناسی، اقلیمی و گیتاشناسی (هندسی حوزه‌ها) آبخیز است همواره یکی از موضوع‌های مهم در آب‌شناسی بوده است. در این پژوهش ابتدا با روی هم گذاشتن نقشه‌ی اقلیم کشور بر اساس نظام طبقه‌بندی دومارتن با مرز حوزه‌ها، آبخیزهای هر منطقه‌ی اقلیمی تفکیک کرده و ۳۱۴ ایستگاه آب‌سنجی با داده‌های مناسب از دوره‌ی مشترک داده‌برداری ۱۳۵۵-۱۳۹۰ در شش منطقه‌ی اقلیمی انتخاب شد. آب‌دهی بیشینه‌ی لحظه‌یی با دوره‌ی بازگشت ۵۰ ساله محاسبه شد. پانزده سنجه‌ی آب‌شناسی، اقلیمی، و گیتاشناسی مؤثر بر شدت سیل‌خیزی شامل ارتفاع متوسط، مساحت حوزه، ضریب گراویلوس، شیب حوزه و طول رودخانه‌ی اصلی، بارش متوسط سالانه، متوسط تعداد روزهای بارانی، شاخص جریان پایه، ضریب افت آب‌نگار جریان، درصد بی‌تجاوز Q<sub>۲۰</sub>, Q<sub>۱۰</sub>, Q<sub>۵</sub>, Q<sub>۲</sub>، شماره‌ی منحنی، و نفوذپذیری برای هر حوزه محاسبه شد. پس از به‌معیار کردن داده‌ها، برای انتخاب کردن مهم‌ترین عامل‌های مستقل مؤثر بر شدت سیل‌خیزی در هر منطقه‌ی اقلیمی، تحلیل عاملی جداگانه انجام و رابطه‌های وابازی بین شاخص سیل‌خیزی و عامل‌های انتخاب‌شده در منطقه‌های مختلف اقلیمی استخراج و تحلیل کرده شد. نتیجه‌ها نشان داد که سنجه‌های به‌کاررفته در همه‌ی منطقه‌های اقلیمی بیش از ۷۴٪ از پراکنش داده‌ها را توجیه می‌کند. سنجه‌های مشترک در عامل اول همه‌ی منطقه‌های اقلیمی، مولفه‌های مختلف جریان شامل شاخص جریان پایه، ضریب افت آب‌نگار، شاخص‌های منحنی تداوم جریان، به‌همراه سنجه‌های مرتبط با مشخصه‌ی ذاتی حوزه مانند شماره‌ی منحنی و نفوذپذیری بود. شاخص‌های بخش‌پرابی منحنی تداوم جریان در همه‌ی منطقه‌های اقلیمی در مرتبه‌ی اول تاثیر‌گذاری و در قالب عامل اول بود، که برای برآورد و پیش‌بینی کردن سیل‌خیزی توصیه می‌شود. بهنجاربودن توزیع خطاها در رابطه‌های وابازی همه‌ی منطقه‌های اقلیمی و ضریب دوربین-واتسن بین ۱/۵ تا ۲/۵ بیانگر ممکن بودن اعتماد به رابطه‌ها برای برآورد کردن شدت سیل‌خیزی در حوزه‌های بی‌آمار است.

واژگان کلیدی: برآورد، تحلیل عاملی، مشخصه‌های جریان، منطقه‌های اقلیمی، منحنی تداوم جریان

## مقدمه

سیل از مهم‌ترین آسیب‌های طبیعی است که به دلیل موقعیت خاص اقلیمی، پستی‌بلندی و رژیم بارندگی ویژه‌ی کشور آسیب‌های جانی و مالی زیادی را در سال‌های گذشته بر کشور تحمیل کرده است. شناخت پدیده‌ی سیل و عامل‌های مؤثر بر آن پیش‌نیاز مهار و مدیریت کردن آن است. بررسی وضعیت سیل خیزی شماری از رودخانه‌های ایران در گیلان، فارس، کرمان، ارومیه، سفیدرود، خوزستان، مازندران و خراسان انجام شده است (جلالی ۱۹۸۶). بنا به این گزارش ایشان روی داد سیلاب و زیان‌های آن در ۵۰ سال گذشته در کشور بیش از ۲۵۰٪ رشد داشته است. خلاصه‌ی آمار زیان‌های سیل در پنج دهه‌ی گذشته، به استثنای دهه‌ی هشتاد، مهارشدن زیان‌های جانی را نشان می‌دهد، ولی روند تخریب خانه‌ها، پل‌ها، مزرعه‌ها و راه‌های شهری و روستایی افزایشی است (بانک اطلاعاتی زیان‌های سیل شرکت جاماب (۲۰۰۲) و بانک اطلاعات سیل کشور در سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، دفتر مهندسی و ارزیابی آبخیزها، به نقل از دستورانی ۲۰۱۴). جدول زیان‌های مالی و جانی سیل به تفکیک استانی (مهدوی ۱۹۹۹) نشان‌دهنده‌ی این است که در ۹۳۴ سیلاب از ۱۳۵۱ تا ۱۳۷۵، بیش‌ترین خسارت مالی در استان فارس معادل ۳۴۲/۳ میلیون دلار، و بیش‌ترین تلفات انسانی در استان تهران با کشته‌شدن ۳۹۸ نفر بوده است. از نظر مهدوی و هاشمی (۱۹۹۷) اندازه و تکرار سیل بستگی به عامل‌های پرشماری دارد که مهم‌ترین آن‌ها را سه گروه اقلیمی، خاک‌شناسی و مدیریتی دانسته است. مهم‌ترین عامل‌های رخداد سیل در هر منطقه عبارت است از عامل‌های حوزه‌یی (عامل‌های فیزیکی مانند سطح، شیب، تراکم سطحی)، عامل‌های زمین‌شناسی و خاک‌شناسی، ویژگی‌های پوشش گیاهی، عامل‌های اقلیمی و اعمال نکردن مدیریت صحیح حوزه، و عامل‌های مربوط به ویژگی‌های رودخانه و مصالح رودخانه‌یی، رسوب‌گذاری بستر رودها و بالاآمدن کف آن‌ها، کاربری زمین‌های حاشیه‌ی رودخانه، تخریب‌کردن ساحل رودخانه‌ها و خاکریزها، رعایت‌نکردن حریم رودخانه و سیل‌راه، و توسعه‌دادن منطقه‌های شهری (تلوری ۱۹۹۶، به نقل از نجفی و نصری ۲۰۱۰). در دو دهه‌ی اخیر پژوهش‌های پرشماری مبتنی بر تحلیل رابطه‌های بین مولفه‌های مختلف حوزه و سنجه‌های اقلیمی و آب‌شناسی برای شناخت این پدیده به انجام رسیده است. عرب خدردی (۱۹۹۵) با روش وایازی چندگانه در تحلیل منطقه‌یی سیلاب رابطه‌های همبستگی بین سیلاب‌های طرح و برخی ویژگی‌های آبخیز مانند مساحت، قطر، عامل شکل، طول و شیب آبراه اصلی، درصد مساحت جنگلی و باران متوسط سالانه را تجزیه و تحلیل کرد. برخی از پژوهش‌ها برای تعیین مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر سیل، روش فرآیند تحلیل حساسیت شبیه‌سازی‌های تجربی

را (که اطلاعات مفیدی در باره‌ی خصوصیت‌های عامل‌های به‌کاررفته و اندازه‌ی وابستگی خروجی شبیه‌سازی به این عامل‌ها می‌دهد) به کار برده‌اند. مهدوی و همکاران (۲۰۰۴) در برخی از آبخیزهای ایران ده شبیه‌سازی کلی تجربی را نسبت به مساحت، تحلیل حساسیت کردند و تاثیر آن را بر آب‌دهی اوج سیلابی با دوره‌ی بازگشت‌های ۵؛۲؛۱۰؛۲۰؛۵۰ و ۱۰۰ ساله مشخص کردند. ملکی‌نژاد و کوثری (۲۰۰۹) روش شماره‌ی منحنی را تحلیل حساسیت کردند. آن‌ها برای تحلیل کردن حساسیت شبیه‌سازی و تعیین کردن واکنش آن به تغییر در ورودی‌های شبیه‌سازی، اهمیت نسبی شماره‌ی منحنی، زمان تمرکز، مساحت حوزه، و بارش را در دوره‌ی بازگشت‌های معین بررسی کردند. نتیجه‌ها نشان داد که شماره‌ی منحنی بیش‌ترین تاثیر را بر خروجی شبیه‌سازی یعنی آب‌دهی اوج در دوره‌ی بازگشت‌های مختلف دارد، هر چند که مقدار بارش نیز تاثیر زیادی بر آب‌دهی اوج دارد و شدت آن با افزایش یافتن شماره‌ی منحنی بیش‌تر می‌شود. حساسیت شبیه‌سازی در خروجی‌ها با افزایش دوره‌ی بازگشت بیش‌تر می‌شود. تعیین مهم‌ترین عامل‌ها و سنجه‌های تاثیرگذار بر ایجاد کردن و تشدید کردن آب‌دهی‌های سیلابی در آبخیز اصفهان-سیرجان در بخش مرکزی ایران، با آمار بازسازی شده‌ی آب‌دهی‌های ۱۴ ایستگاه آب‌شناسی این حوزه، با روش آماری تجزیه و تحلیل عاملی پژوهیده شد (نجفی و نصری ۲۰۱۰). نتیجه‌ها نشان داد که عامل‌های زمان تمرکز با وزن ۳۷/۹٪، شیب سطح حوزه با ۲۹٪، و تراکم زه‌کشی آبراه‌های درجه‌ی ۱ با وزن ۲۴/۶٪، بیش‌ترین تاثیر را بر ایجاد و یا تشدید کردن آب‌دهی‌های سیلابی داشت. بررسی مهم‌ترین عامل‌های مؤثر در آب‌دهی بیشینه‌ی سیلاب با تحلیل حساسیت رابطه‌های تجربی، (دستورانی و حیات زاده ۲۰۱۰)، که در آن ۱۰ رابطه‌ی تجربی مرسوم تحلیل کرده شد، نشان داد که همه‌ی رابطه‌ها نسبت به مساحت‌های کم، حساسیت دارد، و بر آب‌دهی اوج سیل در خروجی شبیه‌سازی تاثیر زیادی دارد. عامل‌های مؤثر بر سیل خیزی آبخیز زراباد (هاشمی و همکاران ۲۰۱۲) بررسی، و همبستگی منفی درصد پوشش گیاهی با سیل خیزی، و همبستگی مقدار بارندگی، شدت بارندگی و سطح‌های نفوذناپذیر بر آب‌دهی بیشینه‌ی سیلاب گزارش شد. خیری‌زاده آروق و همکاران (۲۰۱۳) تاثیر لایه‌های زمین‌شناسی سطحی، پوشش گیاهی، شیب، شماره‌ی منحنی، شکل حوزه، تراکم زه‌کشی، و ارتفاع روان‌آب را به روش فرآیند تحلیل شبکه‌یی<sup>۱</sup> (ANP) بر تولید روان‌آب که شاخص سیل است بررسی کردند و نتیجه گرفتند که عامل شیب با ۳۰٪ و روان‌آب حوزه با ۲۸٪ بیش‌ترین سهم را در رخداد سیل داشت. در تحقیق مشابهی، عامل‌های مؤثر بر وقوع سیل در حوزه‌ی حویق با روش ANP بررسی شد (عابدینی و خوشخوی دلشاد ۲۰۱۶). نتیجه‌ها نشان داد که اهمیت عامل شیب، نفوذپذیری، سرعت جریان،

مؤثر بر روی دادن بارش‌های شدید و بیش‌ترین اندازه‌ی سیل است در مقیاس کشوری (گوه‌اداگردا و همکاران ۲۰۱۱) با هدف شناخت و تحلیل طرح‌های آب‌شناسی و مدیریت کردن آسیب‌ها انجام شده است. بنیامین پول و همکاران (۲۰۱۷) تاثیر مولفه‌ی تعداد روزهای بارانی را که سنجه‌ی کلیدی و نماینده‌ی تعیین‌کننده‌ی رطوبت خاک است، و روند و رابطه‌ی مولفه‌ی تعداد روزهای بارانی را با شدت بارش‌ها بررسی کردند. نتیجه‌های ایشان نشان داد که با کاهش تعداد روزهای بارانی شدت بارش‌ها افزایش یافته است. گائو و همکاران (۲۰۱۸) با این فرض که رابطه‌های بین مشخصه‌های کلیدی حوزه و سیل در تراز منطقه‌ی و رابطه‌های همبستگی آن‌ها برای پیش‌بینی مشخص نیست، مشخصه‌های کلیدی حوزه (شیب، ارتفاع، ژرفای سنگ بستر، فرسایش‌پذیری خاک، پوشش جنگلی، شهری، شاخص خشکی خاک، مساحت و چگالی زه‌کشی حوزه) را برای فهمیدن و یافتن اندازه‌ی تاثیر بر شدت سیل در ۴۰۴ حوزه در آمریکا پژوهش‌سیدند. نتیجه‌های ایشان نشان داد که شیب بیش‌ترین تاثیر را دارد. مولفه‌های پوشش، خاک، زمین‌شناسی و اقلیم تاثیر کم داشت.

در جمع‌بندی مولفه‌های مختلف به‌کاررفته در منابع، سنجه‌های مساحت، شیب، طول رودخانه‌ی اصلی و بارش بخش مشترک همه‌ی پژوهش‌ها در مقیاس‌های مختلف است. در این پژوهش سنجه‌های تعداد روزهای بارانی، شاخص جریان پایه، شاخص افت منحنی آب نگار، و شاخص‌های بیرون‌آورده از منحنی تداوم جریان کم‌تر در منابع مشاهده شد. تاکنون پژوهشی جامع و در مقیاس منطقه‌ی و ملی در بررسی و تحلیل کردن عامل‌های مؤثر بر شدت سیل خیزی در کشور ایران مشاهده نشده است. بر پایه‌ی نتیجه‌ی پژوهش‌های پیش‌گفته، شدت سیل خیزی به علت تاثیر عامل‌های مختلف فیزیکی، آب‌شناسی و اقلیمی از نظر زمانی و مکانی متغیر است. ازین‌رو، پژوهش در شناخت عامل‌های مؤثر بر شدت سیل خیزی در اقلیم‌های مختلف، موجب دست‌یافتن به اطلاعاتی برای برآورد کردن منطقه‌ی آن، و کاربرد آن‌ها در مدیریت منابع آب و مدیریت آسیب‌های محیطی خواهد شد.

## مواد و روش‌ها

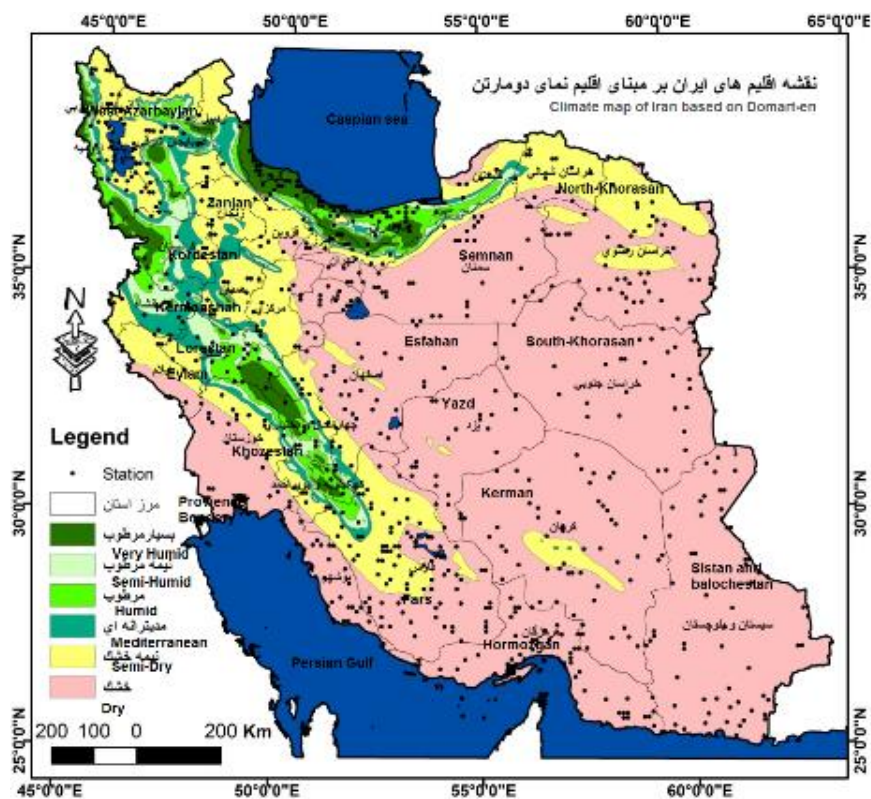
### منطقه‌ی پژوهش

منطقه‌ی پژوهش در گستره‌ی کشور ایران، در شش منطقه‌ی اقلیمی شامل حوزه‌های منتخب از منطقه‌ی اقلیمی خشک، نیمه‌خشک، بسیار مرطوب، مرطوب، نیمه‌مرطوب و مدیترانه‌ی است (شکل ۱). ویژگی‌های سنجه‌های منتخب برای تحلیل کردن عامل‌های مؤثر بر سیل خیزی در جدول ۱ آورده شده است.

فرسایش و زمان تمرکز با وزن تاثیرگزاری ۰/۳۴۱، و عامل سنگ‌شناسی با مقدار ۰/۲۸۷ بیش‌ترین بود. پرهمت (۲۰۱۷) شبیه‌سازی‌های منطقه‌ی برآورد آب‌دهی جریان سالانه در ترازهای مختلف احتمال را با آمار مشاهده‌ی ۱۰۸ ایستگاه آب‌سنجی در واحدهای آب‌شناسی حوزه‌های کرخه، دز و کارون با سنجه‌های مساحت، طول مستطیل معادل، شیب، ضریب گراویلیوس، بارندگی، طول آبراه اصلی، شیب آبراه اصلی، ارتفاع متوسط حوزه، تراکم زه‌کشی، و محیط حوزه ارزیابی کرده است. نتیجه‌های ایشان نشان داد که ضریب همبستگی آب‌دهی جریان در ترازهای مختلف احتمال، با ۱۰ عامل منتخب زیاد بوده است. نتیجه‌های تحقیقات مصفا‌ی و ملکی نژاد (۲۰۱۷) در ۲۳ آبخیز استان قزوین، نشان داد که ۵ عامل محیط، قطر دایره‌ی معادل، زمان تمرکز، طول آبراه اصلی، و مساحت حوزه مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر پیش‌بینی سیلاب در استان قزوین است. پرهمت و کاظمی (۲۰۱۷) رابطه‌های منطقه‌ی ضریب جریان را با ۱۵ مولفه‌ی زمین‌شناسی، ریخت‌سنجی و آبی-اقلیمی در حوزه‌ی کرخه نشان دادند. نتیجه‌های ایشان نشان داد که دقت رابطه‌های داده‌شده در منطقه‌های همگن اول و دوم به ترتیب ۱۷/۹۷ و ۲۷/۸۱٪ بوده است. نتیجه‌های تحقیقات میلی و همکاران (۲۰۰۸)؛ استونستارم و همکاران (۲۰۰۹)؛ مونتاناری و همکاران (۲۰۱۳) رابطه‌های بین مولفه‌های مختلف حوزه و سیل برای موضوع‌های مختلف مانند برآورد و پیش‌بینی کردن تغییر آب‌شناسی را توصیه کرده است. بنسون (۱۹۶۳) در نیوانگلند که منطقه‌ی اقلیمی مرطوب است، مهم‌ترین مولفه‌ی مؤثر بر سیل را مساحت حوزه‌ی زه‌کشی و در مرتبه‌ی بعدی شیب رودخانه‌ی اصلی دانستند. نتیجه‌های تحقیقات سیمون و بارکوچبا (۱۹۷۲) در منطقه‌های مرطوب شمال ایالت اوهایوی آمریکا نشان داد که مهم‌ترین عامل مؤثر بر سیل در حوزه‌های بزرگ مساحت حوزه و شیب رودخانه‌ی اصلی، و برای حوزه‌های کوچک مساحت حوزه، بارش و شاخص خاک است. در پژوهش‌هایی که در تراز کشوری و منطقه‌ی در چین به انجام رسید (نی و همکاران ۲۰۱۲)، عامل‌های مؤثر بر تغییر مکانی و زمانی سیل بررسی شد، و در منطقه‌بندی آن مهم‌ترین عامل مؤثر را هواشناسی دانستند. نتیجه‌ی پژوهش ویلمیک و لانگامر (۲۰۰۸) در حوزه‌ی رودخانه‌ی اوتواوا در اروپای مرکزی مهم‌ترین عامل مؤثر بر سیل را تغییر کردن چشم‌انداز و کاربری‌های کشاورزی و شهری دانسته‌است. اثرهای شدت بارش و رطوبت پیشین بر سیل خیزی بررسی شده است (بلوسچل و همکاران ۲۰۱۵، برگوس و همکاران ۲۰۱۶).

مولفه‌ی تعداد روزهای بارانی از دیدگاه تاثیری که ممکن است بر شرایط رطوبت خاک، و نامستقیم بر شرایط سیل خیزی داشته باشد، مهم است. پژوهشگران مختلفی به این دیدگاه توجه کرده‌اند. تحلیل فراوانی روزهای بارانی، که یکی از عامل‌های

## تحلیل عامل‌های مؤثر بر شدت سیل خیزی در ایران...



شکل ۱- نقشه اقلیم منطقه‌ی پژوهش بر اساس روش دومارتن (کازمی و همکاران ۲۰۱۸).

جدول ۱- اندازه‌های کمینه، بیشینه و میانگین سنج‌های به کاررفته در حوزه‌های منطقه‌های اقلیمی مختلف.

شاخص سیل خیزی		شاخص‌های تداوم جریان										سنجه		اقلیم			
FRP50	FRP25	Q <sub>20</sub>	Q <sub>10</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>2</sub>	NR	IR	K	BFI	C	P	S	RL		Gc	A	H
۸۲	۸۲	۸۱	۸۷	۸۳	۸۷	۵۴	۸۷	-۰/۸۲	-۰/۵۷	۷۱	۸۸۱	۲۳/۵۸	۲۲۷	۱/۴۶	۴۲۹	۱۰۴۴	میانگین
۹۸	۹۸	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۹۰	۹۸	-۰/۹۸	-۰/۷۷	۸۸	۱۴۶۴	۴۸/۱۲	۷۷۴	۲/۱۶	۲۱۲۵	۳۲۲۴	بیشینه
۳۷	۶۰	۵۶	۵۵	۳۷	۶۰	۲۸	۵۵	-۰/۴۴	-۰/۳۶	۴۷	۲۱۴	-۰/۲۴	۳۹	۱/۱۲	۴۲	۱۷	کمینه
۹۰	۹۰	۷۶	۹۱	۹۱	۹۰	۵۴	۹۱	-۰/۷۷	-۰/۵۴	۷۲	۶۵۷	۲۵/۳۰	۳۶۰	۱/۴۹	۷۴۹	۱۷۹۴	میانگین
۹۸	۹۸	۹۷	۹۷	۹۸	۹۸	۷۸	۹۸	-۰/۹۷	-۰/۸۶	۸۸	۱۰۷۸	۴۹/۹۲	۱۱۰۰	۲/۱۷	۴۱۱۷	۳۰۶۷	بیشینه
۵۰	۵۵	۳۰	۴۰	۵۱	۵۵	۳۵	۴۰	-۰/۳۳	-۰/۳۶	۴۲	۳۰۸	-۰/۴۳	۶۰	۱/۱۴	۸۰	۶	کمینه
۹۱	۹۲	۷۹	۹۴	۹۲	۹۲	۵۳	۹۴	-۰/۸۳	-۰/۵۹	۷۵	۵۷۱	۲۵/۲۵	۳۷۶	۱/۵۱	۷۶۵	۲۰۸۷	میانگین
۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۶۹	۹۸	-۰/۹۷	-۰/۸۴	۸۸	۱۴۳۰	۴۶/۸۶	۱۰۵۸	۲/۱۰	۲۳۱۶	۲۸۲۴	بیشینه
۵۰	۵۳	۳۰	۶۳	۶۴	۵۳	۲۴	۶۳	-۰/۳۶	-۰/۳۵	۵۰	۲۰۷	۱/۰۴	۸۵	۱/۳۰	۱۰۹	۸۸	کمینه
۸۶	۸۴	۷۱	۸۷	۸۶	۸۴	۵۲	۸۶	-۰/۷۳	-۰/۵۵	۶۸	۴۱۰	۲۴/۵۰	۳۸۹	۱/۴۵	۸۴۶	۲۰۴۱	میانگین
۹۸	۹۸	۹۷	۹۸	۹۸	۹۸	۷۵	۹۸	-۰/۹۸	-۰/۸۳	۸۷	۸۰۴	۴۴/۵۸	۱۲۵۲	۱/۷۷	۳۴۶۱	۲۷۹۸	بیشینه
۳۹	۲۷	۲۶	۳۵	۳۱	۲۷	۲۶	۲۳	-۰/۲۳	-۰/۳۶	۳۰	۲۱۱	۱/۶۸	۵۲	۱/۱۲	۷۴	۸۱۲	کمینه
۸۳	۸۸	۸۵	۸۷	۸۴	۸۸	۵۳	۸۷	-۰/۸۵	-۰/۶۱	۷۲	۱۸۴	۱۶/۶۱	۹۶۳	۱/۵۵	۲۹۳۲	۱۹۱۶	میانگین
۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۶	۹۸	-۰/۹۸	-۰/۸۴	۸۸	۳۷۳	۳۰/۹۸	۵۰۹۶	۲/۳۴	۲۶۱۱۳	۳۱۰۵	بیشینه
۳۸	۵۸	۵۷	۵۲	۳۸	۵۸	۲۸	۵۲	-۰/۵۲	-۰/۳۳	۴۵	۷۰	-۰/۲۱	۱۵۶	۱/۲۲	۲۸۸	۵۴۳	کمینه
۸۹	۹۰	۶۵	۹۱	۸۹	۹۰	۳۴	۹۱	-۰/۸۷	-۰/۵۶	۶۶	۳۸۱	۱۷/۴۸	۴۰۸	۱/۵۳	۸۴۹	۲۰۳۶	میانگین
۹۷	۹۷	۹۵	۹۸	۹۷	۹۷	۵۵	۹۸	-۰/۹۸	-۰/۸۱	۸۰	۷۵۲	۲۵/۴۵	۱۱۱۵	۲/۰۴	۲۹۰۵	۲۷۶۹	بیشینه
۵۰	۶۷	۴۰	۷۱	۶۶	۶۷	۲۴	۷۱	-۰/۶۲	-۰/۴۲	۵۱	۱۵۹	۲	۱۲۱	۱/۱۲	۱۶۳	۱۱۴۷	کمینه

H ارتفاع متوسط حوزه (متر)؛ A مساحت حوزه (کیلومتر مربع)؛ GC ضریب گراویلیوس؛ RL طول آبراه اصلی (کیلومتر)؛ S شیب متوسط حوزه (٪)؛ P بارش متوسط سالانه (میلی‌متر)؛ CN شماره منحنی حوزه؛ BFI شاخص جریان پایه؛ K ضریب افت منحنی آب‌نگار؛ Q<sub>2</sub>, Q<sub>5</sub>, Q<sub>10</sub>, Q<sub>20</sub> شاخص‌های بخش برای منحنی تداوم جریان؛ FRP<sub>50</sub> شاخص شدت سیل خیزی (آب‌دهی بیشینه با دوره بازگشت ۵۰ ساله)؛ FRP<sub>25</sub> (آب‌دهی بیشینه با دوره بازگشت ۲۵ ساله)

به دست آمد.

### روش برآورد شدت و شاخص شدت سیل خیزی

آب‌دهی بیشینه‌ی لحظه‌یی، شاخص اصلی سیل‌خیزی است که در این تحقیق مقدار آن با دوره‌ی بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله در واحد حوزه که سنجه‌یی بهنجار شده است انتخاب شد. برای محاسبه‌کردن آب‌دهی بیشینه‌ی لحظه‌یی در حوزه‌های بی‌آمار، تحلیل همبستگی آب‌دهی بیشینه‌ی لحظه‌یی با آب‌دهی بیشینه‌ی روزانه به کار گرفته شد. برای برآوردکردن آب‌دهی بیشینه‌ی لحظه‌یی رابطه‌های همبستگی و تحلیل منطقه‌یی رابطه‌ی آب‌دهی بیشینه‌ی روزانه با آب‌دهی متوسط درازمدت، و عامل اخیر با بارندگی و مساحت حوزه‌های منتهی به ایستگاه‌های آب‌سنجی آماردار هم‌زمان به کار گرفته شد (پرهت، ۲۰۱۷). از بین ایستگاه‌های آب‌سنجی هر منطقه‌ی اقلیمی، آن‌ها که شرایطشان تقریباً مشابه و سال آماری‌شان مشترک بود انتخاب شد. بعد از همگن و بازسازی کردن داده‌ها، ایستگاه‌ها با نرم‌افزار HYFA تحلیل نقطه‌یی شد، و توزیع‌های آماری برای تک‌تک ایستگاه‌ها با کمینه‌ی مقدار کای اسکور مشخص کرده شد. برای این که بتوان به توزیع آماری مناسب در منطقه دست یافت، کمینه‌ی مقدار کای اسکور از مجموع کای اسکورهای همه‌ی ایستگاه‌ها محاسبه شد. بر این اساس لوگ بهنجار سه‌متغیره توزیع آماری مناسب منطقه‌یی تشخیص داده شد.

### تحلیل عاملی برای شناخت عامل‌های مستقل مؤثر بر شدت سیل‌خیزی

تجزیه و تحلیل عاملی به روش (PCA) <sup>۶</sup> با نرم‌افزار SPSS برای ۱۵ متغیر ویژگی‌های آب‌خیزی، آب‌شناسی و اقلیم‌شناسی در حوزه‌های منتخب در اقلیم‌های مختلف به کار برده شد. محورهای عاملی با روش واریماکس <sup>۷</sup> که روش مناسب و به‌معیار برای ساده‌کردن ساختار عامل‌ها و بیشینه‌کردن رابطه‌ی همبستگی بین متغیرها است، دوران داده شد. با روش شبیه‌سازی وایازی، آرایه‌ی امتیازهای عاملی استخراج شد. برای تعیین کردن متغیرهایی که خروج آن‌ها از شبیه‌سازی تجزیه‌ی عاملی به بهترین کیفیت تجزیه‌ی عاملی کمک می‌کند، آرایه‌ی همبستگی پاد تصویر <sup>۸</sup> و آماره‌ی اندازه‌ی دقت نمونه‌گیری با نماد (MSA) <sup>۹</sup> و اندازه‌ی همبستگی در جدول اشتراک استخراج شده به کار گرفته شد. عنصرهای روی قطر آرایه‌ی

### روش پژوهش

ابتدا با روی هم‌گذاری نقشه‌ی اقلیم با نظام طبقه‌بندی دومارتن با مرز حوزه‌ها (کازمی و همکاران ۲۰۱۸) آب‌خیزهای هر منطقه‌ی اقلیمی تفکیک کرده شد. ۳۱۴ ایستگاه آب‌سنجی با داده‌های مناسب و دوره‌ی مشترک داده‌برداری ۱۹۷۶-۲۰۱۱ در شش منطقه‌ی اقلیمی انتخاب شد. آب‌دهی بیشینه‌ی لحظه‌یی با دوره‌ی بازگشت ۵۰ ساله محاسبه شد. ۱۵ سنجه‌ی آب‌شناسی، اقلیمی و گیاتاشناسی مؤثر بر شدت سیل‌خیزی شامل ارتفاع متوسط، مساحت حوزه، ضریب شکل حوزه (گراویلیوس)، شیب حوزه و طول رودخانه‌ی اصلی و سنجه‌های آب اقلیم‌شناسی بارش متوسط سالانه، متوسط تعداد روزهای بارانی، شاخص جریان پایه، ضریب افت آب‌نگار جریان، شماره‌ی منحنی، نفوذپذیری و درصد بی‌تجاوز  $Q_2, Q_5, Q_{10}, Q_{20}$  برای هر حوزه محاسبه شد. پس از بهنجار کردن و به‌معیار کردن داده‌ها، برای انتخاب کردن مهم‌ترین عامل‌های مستقل مؤثر بر شدت سیل‌خیزی در هر منطقه‌ی اقلیمی به‌طور جداگانه تحلیل عاملی شد. رابطه‌های وایازی شاخص سیل‌خیزی، با سنجه‌های آبی اقلیمی و هندسی حوزه‌ها در ترازهای معنی‌داری کم‌تر از ۰/۱ تعیین شد رابطه‌های وایازی با آزمون استقلال خطاها، هم‌خطی و بررسی بهنجار بودن توزیع خطاها، اعتبارسنجی و نتیجه‌ها تحلیل شد.

### روش برآورد مولفه‌های به‌کاررفته

سنجه‌های هندسی حوزه‌ها (ارتفاع متوسط، مساحت حوزه، ضریب شکل حوزه (گراویلیوس)، شیب حوزه و طول رودخانه) با لایه‌ی مدل ارتفاعی رقومی (DEM) <sup>۳</sup>، شبکه‌ی آب‌نگاری و مرز حوزه‌ها در نرم‌افزار آرک‌جی‌آی‌اس بیرون آورده شد. شماره‌ی منحنی حوزه از تلفیق کردن نقشه‌های پوشش گیاهی، کاربری زمین و گروه‌های آب‌شناسی خاک، با جدول سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) <sup>۴</sup> محاسبه شد. برای محاسبه‌کردن سنجه‌های ضریب افت منحنی آب‌نگار، شاخص جریان پایه و شاخص‌های منحنی تداوم جریان، داده‌های آب‌دهی روزانه‌ی ایستگاه‌های آب‌سنجی، و مجموعه‌ی نرم‌افزار (HydroOffice) در قالب برنامه‌های RC و FDC؛ Flowcomp به کار گرفته شد. متوسط بارندگی سالانه با داده‌های درازمدت بارش به روش میان‌یابی وزنی از نوع فاصله‌ی معکوس (IDW) <sup>۵</sup> محاسبه شد و متوسط روزهای بارانی با تحلیل کردن داده‌های بارش ایستگاه‌ها

- 3 - Digital Elevation Model
- 4 - Soil Conservation Service (SCS)
- 5 - Inverse distance weighting (IDW)
- 6 - Principal Component Analysis
- 7 - Varimax Rotation
- 8 - Anti-image
- 9 - Measure of Sampling Adequacy

صفر خواهد شد، که نشان‌دهنده‌ی بودن خودهمبستگی مثبت بین خطاها است. اگر  $P = -1$  باشد آنگاه مقدار آماره ۴ می‌شود، که نشان‌دهنده‌ی بودن خودهمبستگی منفی بین خطاها است، و اگر بین ۱/۵ تا ۲/۵ باشد، فرض  $H_0$  پذیرفته، و اگر نه رد می‌شود، که بیانگر بودن همبستگی بین خطاها است.

$$DW=2(1-P) \quad (۲) \text{رابطه‌ی}$$

ب. بررسی بهنجار بودن توزیع خطاها  
اندازه‌های استاندارد خطاها محاسبه، و نمودار توزیع داده‌ها و نمودار بهنجار آن‌ها کشیده شد.

#### پ. آزمون هم‌خطی

هم‌خطی وضعیتی در وایزی چندمتغیره است که در آن بین دو یا چند متغیر پیش‌بین، همبستگی زیادی باشد. در این حالت ممکن است با زیاد بودن مقدار ضریب تعیین، اعتبار شبیه‌سازی وایزی زیاد نباشد. به عبارت دیگر، با آن که شبیه‌سازی خوب به نظر می‌رسد، متغیرهای مستقل معنی‌دار ندارد.

#### نتایج و بحث

اندازه‌های کمینه، بیشینه و میانگین سنج‌های منتخب مؤثر بر سیل خیزی در جدول ۱ آورده شده است. فرآیند تحلیل عاملی داده‌ها در نرم‌افزار SPSS انجام، و در هر منطقه‌ی اقلیمی جداگانه تحلیل و تفسیر کرده شد. نتیجه‌ی بررسی تناسب داده‌ها برای تحلیل عاملی، در قالب آزمون بارتلت<sup>۱</sup> انجام و شاخص KMO محاسبه شد (جدول ۲)، و اندازه‌های پراکنش توضیح داده‌شده در آزمون تحلیل عاملی منطقه‌های مختلف اقلیمی آورده شد (جدول ۳). نمودار تغییر اندازه‌های ویژه در ارتباط با عامل‌های استخراج‌شده‌ی منطقه‌های مختلف در شکل ۲ آورده شده است.

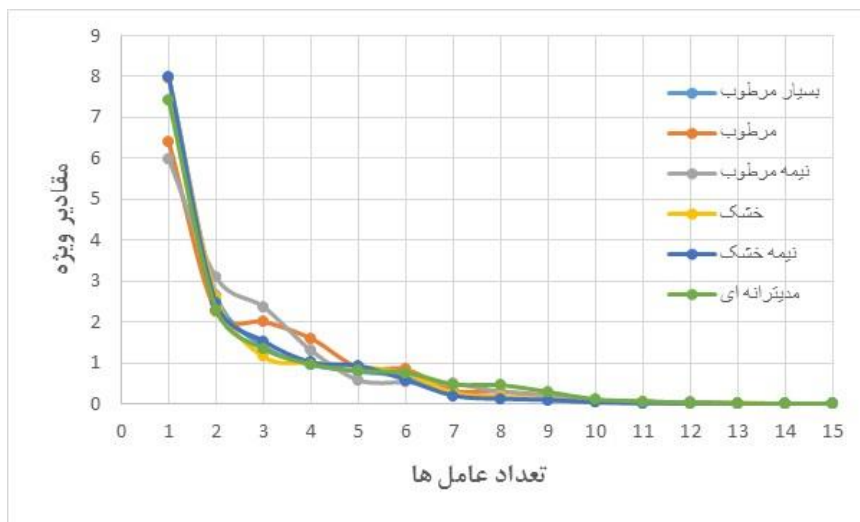
همبستگی، اندازه‌ی دقت نمونه‌گیری است. این معیار که برای هر متغیر جداگانه تحلیل می‌شود، بیانگر این است که آیا متغیر خاصی برای وارد کردن به شبیه‌سازی تجزیه‌ی عاملی صلاحیت دارد یا نه. اندازه‌های بزرگ این شاخص برای تایید کردن ورود متغیر به شبیه‌ساز حرکت می‌کند. پس از انجام دادن تجزیه‌ی عاملی و انتخاب کردن مهم‌ترین سنج‌ها در جایگاه عامل‌های مستقل، نتیجه‌ها تحلیل و تفسیر کرده شد، و مهم‌ترین مولفه‌ها برای تحلیل منطقه‌ی و بیرون آوردن رابطه‌های منطقه‌ی و پیش‌بینی و برآورد کردن شدت سیل خیزی توصیه کرده شد. رابطه‌های بین عامل وابسته‌ی شاخص سیل خیزی و سایر عامل‌های مستقل، با روش وایزی بررسی کرده شد (رابطه‌ی ۱).

$$F_{RP} = a_{HC} + b_{Mr} + C \quad (۱) \text{رابطه‌ی}$$

Mr سنج‌های ریخت‌سنجی؛ HC عامل آبی اقلیمی و سنج‌های a و b و c ضریب‌های ثابت است.

#### بررسی اعتبار رابطه‌های وایزی

پیش فرض‌های انجام دادن هر وایزی، مستقل بودن خطاها از هم، بهنجار بودن توزیع خطاها و پایین بودن میزان هم‌خطی بین متغیرهای مستقل است، و اگر این فرض‌ها برقرار نباشد وایزی اعتبار ندارد. سه روش زیر به کار گرفته شد.  
الف. آزمون استقلال خطاها: برای بررسی استقلال خطاها از هم آزمون دوربین واتسون (رابطه‌ی ۲) به کار برده شد. اگر همبستگی بین خطا را با p نشان دهیم، و اگر  $P=0$  باشد آنگاه مقدار آماره‌ی دوربین واتسون ۲ خواهد شد، که نشان‌دهنده‌ی همبستگی نداشتن خطاها است. اگر  $P=1$  باشد آنگاه مقدار آماره



شکل ۲- نمودار تغییر اندازه‌های ویژه در ارتباط با عامل‌های استخراج‌شده برای حوزه‌های منطقه‌های مختلف اقلیمی.

جدول ۲- نتیجه‌های بررسی تناسب داده‌ها برای تحلیل عاملی در حوزه‌های منطقه‌های مختلف اقلیمی.

شاخص تناسب داده‌ها (KMO)	۰/۷۵۰	شاخص تناسب داده‌ها (KMO)	۰/۷۵۷
خشک	کای دو نیمه‌خشک ۲۷۲۱/۳۰۶	کای دو آزمون کرویت بارتلت	۱۶۲۳/۳۲۵
	درجه‌ی آزادی آزمون کرویت بارتلت	درجه‌ی آزادی	۱۰۵
	معنی‌داری	معنی‌داری	۰/۰۰۰
مرطوب	شاخص تناسب داده‌ها (KMO)	شاخص تناسب داده‌ها (KMO)	۰/۵۸۷
	کای دو نیمه‌مرطوب ۱۳۴۷/۸۸۷	کای دو آزمون کرویت بارتلت	۱۰۴۷/۱۶۲
	درجه‌ی آزادی آزمون کرویت بارتلت	درجه‌ی آزادی	۱۰۵
	معنی‌داری	معنی‌داری	۰/۰۰۰
مدیترانه‌ای	شاخص تناسب داده‌ها (KMO)	شاخص تناسب داده‌ها (KMO)	۰/۷۶۶
	کای دو بسیار مرطوب ۱۷۵۸/۴۹۵	کای دو آزمون کرویت بارتلت	۲۰۷۶/۳۰۸
	درجه‌ی آزادی آزمون کرویت بارتلت	درجه‌ی آزادی	۱۰۵
	معنی‌داری	معنی‌داری	۰/۰۰۰

بود (جدول ۲). این اندازه نشان‌دهنده‌ی این است که همبستگی‌های بین داده‌ها مناسب است و اجازه‌ی ادامه‌ی روند تحلیل عاملی را می‌دهد (بوچارد و لوهلین ۲۰۰۱). در نتیجه‌ی فرآیند تحلیل عاملی و پس از بررسی آرایه‌ی همبستگی و جدول اشتراک استخراج‌شده، همه‌ی سنجه‌ها اشتراک استخراج‌شده بیش از ۰/۵ بودند، که نشان‌دهنده‌ی این است که همه‌ی سنجه‌ها سهم بارزی در پراش عامل مشترک دارد. از این رو همه‌ی آن‌ها در فرآیند تحلیل عاملی مشارکت داده شدند. تصویر نموداری اندازه‌های ویژه در هریک از عامل‌های استخراج‌شده در شکل ۲ نمایش داده شده است. مقدار پراکنش توجیه‌شده (مقدار ویژه) با استخراج

**تحلیل عامل‌های مؤثر بر سیل خیزی حوزه‌ها**  
مولفه‌های منتخب مؤثر بر سیل خیزی در آبخیزهای منطقه‌های اقلیمی مختلف محاسبه و همبستگی آن‌ها با هم و با شاخص سیل خیزی در حوزه‌ها محاسبه شد.

### منطقه‌ی اقلیمی خشک

حوزه‌های این منطقه‌ی اقلیمی در منطقه‌های مرکز، جنوب، شرق و جنوب شرق کشور ایران است. پیش از شروع فرآیند تحلیل عاملی، برای بررسی‌کردن تناسب داده‌ها آزمون بارتلت انجام و شاخص KMO محاسبه شد، که مقدار معنی‌داری آزمون بارتلت کوچک‌تر از ۰/۰۵ و اندازه‌ی KMO برابر ۰/۷۵۰

ادامه‌دادن روند تحلیل عاملی را می‌دهد. نتیجه‌های بررسی آرایه‌ی همبستگی و جدول اشتراک استخراج‌شده نشان داد که اشتراک استخراج‌شده برای سنجی ضریب شکل حوزه کم‌تر از ۰/۵ بود، ازین‌رو از ادامه‌ی روند تحلیل عاملی حذف شد، و سایر سنجه‌ها که ضریب اشتراکی آن‌ها بیش‌تر از ۰/۸ بود و سهم بارزی در پراکنش عامل مشترک دارد در فرآیند تحلیل عاملی مشارکت داده شد. نتیجه‌های فرآیند تحلیل عاملی نشان داد که عامل‌های مؤثر بر سیل خیزی در چهار دسته طبقه‌بندی می‌شود که در مجموع تشریح ۸۶/۵۱۹٪ از پراکنش داده‌ها را توجیه می‌کند (جدول ۳). سنجه‌های شماره‌ی منحنی، نفوذپذیری، ضریب افت منحنی آب‌نگار و شاخص‌های (Q۱۰، Q۵، Q۲) در عامل اول جا گرفت، که توجیه‌کننده‌ی ۵۳/۱۵۳٪ از پراکنش داده‌ها است. در عامل اول بیش‌ترین بار عاملی در سنجی نفوذپذیری و شاخص Q۱۰ با بار عاملی برابر (۰/۹۵۵) است. بار عاملی این دو سنجی به هم نزدیک و نقش آنان در سیل خیزی متناسب است. تاثیر زیاد نفوذپذیری در هاشمی و همکاران (۱۳۹۶) نیز گزارش شد. تعداد روزهای بارانی، بارش متوسط، شاخص جریان پایه و شاخص Q۲۰ در عامل دوم بود، که بیش‌ترین بار عاملی در این دسته در بارش (۰/۹۵۶) بود، که ۱۶/۳۵۲٪ از پراکنش داده‌ها را توجیه می‌کند. مساحت، طول رودخانه‌ی اصلی، و شیب متوسط حوزه در عامل سوم جا گرفت (بار عاملی زیاد طول رودخانه اصلی و پراکنش توجیه‌شده ۱۰/۲۴۰٪). ارتفاع متوسط حوزه به‌تنهایی در عامل چهارم (۰/۸۸) جا گرفت. تصویر نموداری اندازه‌های ویژه در هر یک از عامل‌های استخراج‌شده در شکل ۲ نمایش داده شده است. مقدار پراکنش توجیه‌شده (مقدار ویژه) با استخراج عامل‌های چهارم به بعد افت می‌کند. عامل اول (مقدار ویژه ۷/۹۷۳) بیش‌ترین تاثیرگذاری و پس از آن عامل‌های دوم، سوم و چهارم (مقدار ویژه به‌ترتیب ۲/۴۵۳، ۱/۵۳۶ و ۱/۰۱۶) مرتبه‌های بعدی تاثیرگذاری را داشت.

#### منطقه‌ی اقلیمی مرطوب

حوزه‌های این منطقه‌ی اقلیمی در استان‌های مازندران، کردستان، چهار محال بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد است. بررسی تناسب داده‌ها، منتج از آزمون بارتلت و شاخص KMO نشان داد که مقدار معنی‌داری آزمون بارتلت کوچک‌تر از ۰/۰۵ و اندازه‌ی KMO معادل ۰/۶۰۳ بود (جدول ۲). این اندازه نشان‌دهنده‌ی این است که همبستگی‌های بین داده‌ها مناسب است و اجازه‌ی ادامه‌دادن روند تحلیل عاملی را می‌دهد، ولی تحلیل‌ها باید با رعایت احتیاط علمی انجام شود (بوچارد و لوهلین ۲۰۰۱). در نتیجه‌ی فرآیند تحلیل عاملی و پس از بررسی کردن آرایه‌ی همبستگی و جدول اشتراک استخراج‌شده، اشتراک استخراج‌شده همه‌ی سنجه‌ها به‌استثنای ضریب شکل حوزه بیش از ۰/۵ بود، که نشان می‌دهد که ضریب شکل را می‌توان از ادامه‌ی روند

عامل‌های چهارم به بعد افت محسوس دارد. عامل اول (مقدار ویژه‌ی ۷/۹۴۳) بیش‌ترین تاثیرگذاری، و پس از آن عامل‌های دوم تا چهارم (مقدار ویژه به‌ترتیب ۲/۵۹۵، ۱/۱۵۴ و ۱/۰۰۳) مرتبه‌های بعدی تاثیرگذاری را داشت. در این منطقه، عامل‌های مؤثر بر سیل خیزی در چهار دسته طبقه‌بندی شد که ۸۴/۶۳۸٪ از پراکنش داده‌ها را توضیح می‌دهد (جدول ۳). سنجه‌های نفوذپذیری، شماره‌ی منحنی، ضریب افت منحنی آب‌نگار، شاخص جریان پایه و شاخص‌های بخش پرایمی منحنی تداوم جریان (Q۲، Q۱۰، Q۵، Q۲) در عامل اول جا گرفت، که توجیه‌کننده‌ی ۵۲/۹۵۶٪ از پراکنش داده‌ها است. در عامل اول، بیش‌ترین بار عاملی در Q۲ با بار عاملی ۰/۹۷۹ بود. سنجه‌های بارش متوسط، تعداد روزهای بارانی، ارتفاع متوسط حوزه، طول رودخانه‌ی اصلی و مساحت، در عامل دوم بود، که بیش‌ترین بار عاملی در این دسته در بارش سالانه (۰/۸۰۱) دیده شد. این عامل توجیه‌کننده‌ی ۱۷/۳۰۲٪ از پراکنش داده‌ها است. سنجی ضریب شکل به‌تنهایی در عامل سوم با بار عاملی ۰/۷۷۲ و سنجی متوسط شیب حوزه نیز به‌تنهایی در عامل چهارم (۰/۹۳۰) بود. نقش دو عامل آخر در توجیه پراکنش داده‌ها کم و تقریباً نزدیک به هم بود. گرینگ و هامیلتون (۱۹۹۶) نشان داده اند که سطح معنی‌داری بار عاملی بیش از ۰/۳ پذیرفتنی، بین ۰/۳ تا ۰/۴ پذیرفتنی متوسط، و بیش از ۰/۵ پذیرفتنی قوی است. از این رو که بار عاملی همه‌ی متغیرها بیش از ۰/۷ است، همبستگی بین متغیرها و عامل‌ها زیاد و سطح معنی‌داری قوی است. اشتراک استخراج‌شده همه‌ی سنجه‌ها نیز بیش از ۰/۵ است، ازین‌رو باید برای تحلیل عامل‌های مؤثر بر سیل خیزی همه‌ی آن‌ها را دخالت داد، و هیچ‌یک از سنجه‌ها را از روند تحلیل عاملی کنار نگذاشت. برای کاهش دادن داده‌ها و تفسیر کردن مناسب‌تر عامل‌های مؤثر بر سیل خیزی از میان سنجه‌های تحلیل‌شده، پنج سنجی ضریب شکل، بارش متوسط، نفوذپذیری و شاخص‌های Q۱۰، Q۲ به‌دلیل وزن زیاد تاثیرگذاری مؤثرترین سنجه‌ها شناخته شد. این خروجی با نتیجه‌ی تحقیقات هاشمی و همکاران (۲۰۱۲) مبنی بر بیش‌ترین وزن تاثیرگذاری بارش در سیل خیزی، و نتیجه‌ی مصفايي و ملکی نژاد (۲۰۱۷) مبنی بر تاثیرگذاری زیاد ضریب شکل در کنار بارش، و هاشمی و همکاران (۲۰۱۲) مبنی بر تاثیر زیاد بارش و نفوذپذیری مطابقت دارد، و برای کاربرد در برآورد کردن و پیش‌بینی کردن سیل خیزی حوزه‌ها توصیه می‌شود.

#### منطقه‌ی اقلیمی نیمه‌خشک

نتیجه‌های آزمون بررسی تناسب داده‌ها نشان داد که مقدار معنی‌داری آزمون بارتلت کوچک‌تر از ۰/۰۵ و اندازه‌ی KMO برابر با ۰/۷۵۷ بود (جدول ۲). این اندازه نشان‌دهنده‌ی این است که همبستگی‌های بین داده‌ها مناسب است، و اجازه‌ی



منحنی آب‌نگار و شاخص‌های  $Q10, Q5, Q2$  در عامل اول بود که توجیه‌کننده‌ی  $39/924\%$  از پراکنش داده‌ها است. در عامل اول بیش‌ترین بار عاملی در نفوذپذیری و شاخص  $Q10$  با بار عاملی مساوی و به اندازه‌ی  $0/965$  است. بار عاملی این دو سنجه با هم برابر و نقش آن‌ها در سیل‌خیزی حوزه‌های این منطقه متناسب بود. شماره‌ی منحنی، تعداد روزهای بارانی، شاخص جریان پایه و شاخص  $Q20$  در عامل دوم، و بیش‌ترین بار عاملی در این دسته در  $Q20$  با بار عاملی  $0/932$  بود. این عامل  $20/643\%$  از پراکنش داده‌ها را توجیه می‌کند. مساحت، طول رودخانه‌ی اصلی و ضریب شکل حوزه در عامل سوم جا داده شد. بار عاملی طول رودخانه‌ی اصلی زیاد ( $0/954$ ) و پراکنش توجیه‌شده  $15/810\%$  بود. ارتفاع و شیب متوسط حوزه و بارش در عامل چهارم با بار عاملی  $0/847$  جا گرفت که  $8/712\%$  از پراکنش را توجیه کرد. مقدار پراکنش توجیه‌شده (مقدار ویژه) با استخراج عامل‌های چهارم به بعد افت می‌کند (شکل ۲). عامل اول با مقدار ویژه‌ی  $5/989$  بیش‌ترین تأثیرگذاری را دارد و پس از آن عامل‌های دوم، سوم و چهارم به ترتیب با مقدار ویژه  $3/096$ ؛  $2/372$  و  $1/307$  در مرتبه‌های تأثیرگذاری بعدی است. زیاد بودن بار عاملی شماره‌ی منحنی حوزه در مجموعه‌ی سنجه‌های عامل اول با نتیجه‌های ملکی نژاد و کوثری (۲۰۰۹) در تطابق است و همراهی کلی مولفه‌های بارش، نفوذپذیری، و شماره‌ی منحنی نیز با نتیجه‌های نی و همکاران (۲۰۱۲) و هاشمی و همکاران (۲۰۱۲) هم‌راستا است.

#### منطقه‌ی اقلیمی بسیار مرطوب

نتیجه‌های آزمون بررسی تناسب داده‌ها نشان داد که مقدار معنی‌داری آزمون بارتلت کوچک‌تر از  $0/05$  و اندازه‌ی  $KMO$  برابر با  $0/766$  بود (جدول ۲). بنابراین همبستگی‌های بین داده‌ها مناسب است و اجازه‌ی ادامه‌دادن روند تحلیل عاملی را می‌دهد. بررسی آرایه‌ی همبستگی و جدول اشتراک استخراج‌شده نشان داد که ضریب اشتراک ضریب شکل حوزه کم است، ازین‌رو از روند تحلیل عاملی کنار گذاشته شد. اشتراک استخراج‌شده‌ی سنجه‌های دیگر بیش‌تر از  $0/8$  بود، ازین‌رو تمام آن‌ها در ادامه‌ی روند تحلیل عاملی مشارکت داده شد. در این منطقه عامل‌های مؤثر بر سیل‌خیزی در سه دسته طبقه‌بندی شد و  $80/101\%$  از پراکنش داده‌ها را توجیه کرد (جدول ۳). ده سنجه‌ی بارش متوسط سالانه، شماره‌ی منحنی، نفوذپذیری، تعداد روزهای بارانی، ضریب افت منحنی آب‌نگار، شاخص جریان پایه، و شاخص‌های  $Q10, Q5, Q2$  در عامل اول بود که توجیه‌کننده‌ی  $53/118\%$  از پراکنش داده‌ها است. در عامل اول بیش‌ترین بار عاملی در شماره‌ی منحنی حوزه با بار عاملی  $0/982$  است. مساحت و طول رودخانه‌ی اصلی در عامل دوم، و بیش‌ترین بار عاملی در این دسته در مساحت حوزه با بار عاملی

تحلیل عاملی حذف کرد، و سایر سنجه‌ها که ضریب اشتراکشان بیش از  $0/7$  است و سهم بارزی در پراکنش عامل مشترک دارد، در فرآیند تحلیل عاملی مشارکت داده شود. نتیجه‌های تحلیل عاملی نشان داد که عامل‌های مؤثر بر سیل‌خیزی در حوزه‌های این منطقه‌ی اقلیمی در چهار دسته جا می‌گیرد، و در مجموع  $81/687\%$  از پراکنش داده‌ها را توضیح می‌دهند (جدول ۳). عامل اول سنجه‌های نفوذپذیری و شاخص‌های  $Q10, Q5, Q2$  است که توجیه‌کننده‌ی  $42/699\%$  از پراکنش داده‌ها است. در عامل اول بیش‌ترین بار عاملی در سنجه‌های نفوذپذیری و شاخص  $Q10$  با بار عاملی  $0/938$  بود. بار عاملی همه‌ی سنجه‌های این عامل به هم نزدیک و نقش آن‌ها در سیل‌خیزی متناسب بود. شماره‌ی منحنی حوزه، تعداد روزهای بارانی، ضریب افت منحنی آب‌نگار، شاخص جریان پایه و شاخص  $Q20$  در عامل دوم بود که بیش‌ترین بار عاملی در این دسته به ضریب افت منحنی آب‌نگار و شاخص جریان پایه (بار عاملی  $0/8$ ) دیده شد. این عامل توجیه‌کننده‌ی  $14/927\%$  از پراکنش داده‌ها است. مساحت حوزه و طول رودخانه‌ی اصلی در عامل سوم (بار عاملی  $0/9$ ) و پراکنش توجیه‌شده‌ی  $13/411$ ، و ارتفاع متوسط حوزه، شیب و بارش در عامل چهارم بود که ارتفاع متوسط (بار عاملی  $0/907$ ) بیش‌ترین تأثیرگذاری را داشت. نقش دو عامل دوم و سوم در توجیه پراکنش داده‌ها تقریباً نزدیک به هم است. تصویر نموداری اندازه‌های ویژه در هریک از عامل‌های استخراج شده (شکل ۲) نشان می‌دهد که مقدار پراکنش توجیه‌شده (مقدار ویژه) با استخراج عامل‌های چهارم به بعد افت محسوس دارد. عامل اول با مقدار ویژه‌ی  $6/405$  بیش‌ترین تأثیرگذاری را دارد و پس از آن عامل‌های دوم تا چهارم به ترتیب با مقدار ویژه‌ی  $2/239$ ،  $2/012$  و  $1/597$  در مرتبه‌های تأثیرگذاری بعدی است. تأثیرگذاری سنجه‌های نفوذپذیری، مساحت، طول رودخانه‌ی اصلی، ارتفاع، شیب و بارش با نتیجه‌های خیری‌زاده آروق و همکاران (۲۰۱۳)، سیمون و بارکوچا (۱۹۷۲) و گائو و همکاران (۲۰۱۸) مبنی بر وزن زیاد تأثیرگذاری سنجه‌های شیب، مساحت و ارتفاع حوزه هم‌راستا است.

#### منطقه‌ی اقلیمی نیمه‌مرطوب

نتیجه‌های آزمون بررسی تناسب داده‌ها نشان داد که مقدار معنی‌داری آزمون بارتلت کوچک‌تر از  $0/05$  و اندازه‌ی  $KMO$  برابر با  $0/587$  بود (جدول ۲). این اندازه نشان‌دهنده‌ی این است که همبستگی‌های بین داده‌ها مناسب است و اجازه‌ی ادامه‌دادن روند تحلیل عاملی را می‌دهد. اشتراک استخراج‌شده‌ی همه‌ی سنجه‌ها بیش‌تر از  $0/5$  بود و ازین‌رو تمام آن‌ها در ادامه‌ی روند تحلیل عاملی مشارکت داده شد. در این منطقه عامل‌های مؤثر بر سیل‌خیزی با مجموع  $85/089\%$  از پراکنش داده‌ها در چهار دسته طبقه‌بندی شد (جدول ۳). نفوذپذیری، ضریب افت

Q<sub>2</sub>، Q<sub>10</sub> به هم نزدیک، و نقش آن‌ها در سیل خیزی حوزه‌های این منطقه اقلیمی متناسب است. بارش، مساحت حوزه و طول رودخانه‌ی اصلی در عامل دوم است و بیش‌ترین بار عاملی در این دسته در مساحت حوزه و طول رودخانه‌ی اصلی با بار عاملی ۰/۹ بود، و بار عاملی بارش سالانه از سایر سنجه‌ها کم‌تر بود. این عامل ۱۵/۳۰۸ پراکنش را توجیه می‌کند. شیب متوسط حوزه به تنهایی در عامل سوم جا گرفت. بار عاملی شیب حوزه زیاد و پراکنش آن توجیه‌شده ۸/۹۶۱ است. تصویر نموداری اندازه‌های ویژه در هریک از عامل‌های استخراج شده در شکل ۲ نمایش داده شده است. مقدار پراکنش توجیه شده (مقدار ویژه) با استخراج عامل‌های سوم به بعد افت می‌کند. عامل اول با مقدار ویژه ۷/۹۶۸ بیش‌ترین تاثیرگذاری را دارد و پس از آن عامل‌های دوم و سوم به ترتیب با مقدار ویژه ۲/۶۳۸ و ۱/۴۰۹ در مرتبه‌های تاثیرگذاری بعدی است. زیاد بودن بار عاملی شماره‌ی منحنی حوزه در مجموعه‌ی سنجه‌های عامل اول با نتیجه‌های ملکی نژاد و کوثری (۲۰۰۹) در تطابق است و همراهی کلی مولفه‌های بارش، نفوذپذیری، و شماره‌ی منحنی نیز با نتیجه‌های سیمون و بارکوچبا (۱۹۷۲)؛ نی و همکاران (۲۰۱۲) و هاشمی و همکاران (۲۰۱۲) هم‌راستا است.

#### منطقه‌ی اقلیمی مدیترانه‌یی

نتیجه‌های آزمون بررسی تناسب داده‌ها، نشان داد که مقدار معنی‌داری آزمون بارتلست کوچک‌تر از ۰/۰۵ و اندازه‌ی KMO برابر ۰/۷۱۳ بود. همبستگی‌های بین داده‌ها مناسب بود و اجازه‌ی ادامه‌دادن روند تحلیل عاملی را داد (جدول ۲). نتیجه‌های بررسی آرایه‌ی همبستگی و جدول اشتراک استخراج‌شده نشان داد که اشتراک استخراج‌شده‌ی سنجه‌های ضریب شکل حوزه، ارتفاع متوسط حوزه و تعداد روزهای بارانی کم‌تر از ۰/۵ بود، و از ادامه‌ی روند تحلیل عاملی حذف شد. ضریب اشتراکی سایر سنجه‌ها بیش‌تر از ۰/۷ است که نشان‌دهنده‌ی سهم بارز آن‌ها در تشریح پراش عامل مشترک است، پس در فرآیند تحلیل عاملی مشارکت داده شد. نتیجه‌های فرآیند تحلیل عاملی نشان داد که در این منطقه عامل‌های مؤثر بر سیل خیزی در سه دسته جا می‌گیرد، و در مجموع ۷۳/۶۱۸٪ از پراکنش داده‌ها را توضیح می‌دهد (جدول ۳). سنجه‌های شماره‌ی منحنی حوزه، نفوذپذیری، ضریب افت منحنی آب‌نگار، شاخص جریان پایه، و شاخص‌های Q<sub>20</sub>، Q<sub>10</sub>، Q<sub>5</sub>، Q<sub>2</sub> در عامل اول جا گرفت که توجیه‌کننده‌ی ۴۹/۳۴۸٪ از پراکنش داده‌ها است. در عامل اول بیش‌ترین بار عاملی در شماره‌ی منحنی با بار عاملی ۰/۹۴۷ است. بار عاملی شماره‌ی منحنی، نفوذپذیری و شاخص‌های

#### رابطه‌های وابازی برآورد شاخص سیل خیزی

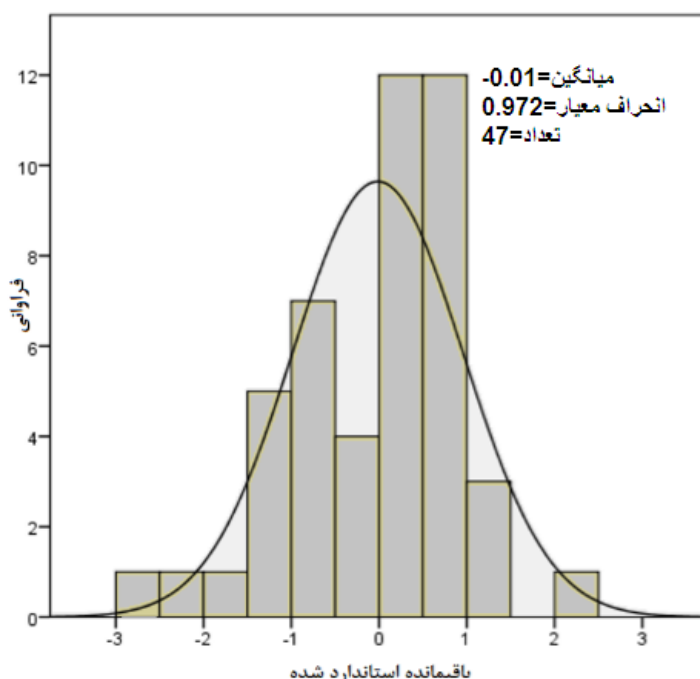
رابطه‌های استخراجی به‌شکل مدل‌های وابازی چندمتغیره که همبستگی معنی‌داری دسر تراز کم‌تر از ۰/۱ دارد در جدول ۴، و نتیجه‌های اعتبارسنجی با آزمون دوربین واتسون برای منطقه‌های مختلف در جدول ۵ آورده شده است. مقدار آماره‌ی دوربین واتسون در این پژوهش برای همه‌ی منطقه‌ها در فاصله ۱/۵ تا ۲/۵ است و بنابراین فرض H<sub>0</sub> برقرار و بین خطاهای برآورد شبیه‌ها، همبستگی زیادی نیست و اعتبار استفاده از شبیه‌ها را تأیید می‌کند. نتایج مقایسه‌ی توزیع اندازه‌های بمعیارشده‌ی خطاها با نمودار بهنجار برای هر منطقه نشان داد که توزیع خطاها در همه‌ی منطقه‌های اقلیمی تقریباً بهنجار بود. شکل ۳ برای نمونه، نمودار توزیع خطاها برای منطقه‌ی اقلیمی نیمه‌خشک را نشان می‌دهد، که مقدار میانگین آن کوچک (نزدیک به صفر) و انحراف معیار آن تقریباً یک (۰/۹۷۲) است. آزمون هم‌خطی نشان داد که شاخص وضعیت متغیرهای مستقل در محدوده‌ی اعتماد است و به‌کاربردن رابطه‌های خطای جدی در پیش‌بینی‌های شبیه‌سازی‌ها ایجاد نمی‌کند.

جدول ۴- رابطه‌های وایازی شاخص سیل خیزی برای حوزه‌های منطقه‌های اقلیمی مختلف.

رابطه‌ی وایازی	منطقه‌ی اقلیمی
$F_{RP50} = G_C \times 5.887 + RI \times 0.001 + S \times (-0.455) + P \times (-0.031) + CN \times 1.191 + BFI \times (-79.154) + 7.285$	خشک
$F_{RP25} = H \times (1.781 \times 10^{-5}) + A \times (6.723 \times 10^{-6}) + G_C \times 0.025 + S \times (-0.002) + CN \times 0.001 + BFI \times 0.146 + 0.795$	
$F_{RP50} = H \times (-0.001) + A \times 0.007 + RL \times (-0.31) + S \times 0.726 + P \times (-0.026) + CN \times (-3.307) + 92.334$	نیمه‌خشک
$F_{RP25} = H \times (-8.445 \times 10^{-5}) + A \times (-4.757 \times 10^{-6}) + S \times (-0.018) + CN \times 0.016 + BFI \times (-0.871) + K \times (-0.063) + NR \times (-0.01) + Q_2 \times 1.014 + 1.325$	
$F_{RP50} = G_C \times (-13.817) + S \times (-4.199) + P \times (-0.011) + CN \times (-4.996) + BFI \times 112.797 + IR \times 0.902 + NR \times 0.958 + Q_2 \times 2.345 + Q_5 \times 0.776 - 13.817$	بسیار مرطوب
$F_{RP25} = H \times (-2.402 \times 10^{-5}) + A \times 0.001 + RL \times (-0.002) + S \times (-0.005) + P \times (-3.939 \times 10^{-5}) + CN \times 0.048 + 0.761$	
$F_{RP50} = H \times (-0.005) + A \times (0.008) + RL \times 0.038 + S \times (-0.153) + P \times (0.006) + CN \times 6.046 + BFI \times (-89.152) + 131.115$	مرطوب
$F_{RP25} = H \times (2.158 \times 10^{-5}) + A \times (1.573 \times 10^{-5}) + S \times (-0.007) + P \times (7.492 \times 10^{-5}) + CN \times 0.48 + BFI \times (-0.721) - 0.128$	
$F_{RP50} = H \times 0.001 + A \times 0.008 + G_C \times 14.346 + RL \times (-0.021) + S \times (-0.414) + P \times (-0.012) + CN \times (-0.264) + 115.411$	نیمه‌مرطوب
$F_{RP25} = H \times (5.155 \times 10^{-5}) + A \times 0.001 + G_C \times 0.251 + S \times 0.005 + CN \times 0.148 + BFI \times (-2.6) + K \times (-0.138) + NR \times (-0.03) + Q_2 \times 0.966 + Q_5$	
$F_{RP50} = A \times (-0.001) + RL \times (-0.20) + S \times 0.415 + P \times 0.052 + CN \times 1.89 + BFI \times (-33.6) + K \times (-5.352) + 42.083$	مدیترانه‌یی
$F_{RP25} = A \times (3.146 \times 10^{-6}) + S \times (-0.005) + CN \times (-0.006) + BFI \times 0.12 + K \times (-0.024) + Q_2 \times 0.003 + Q_5 \times 0.14 + Q_{10} \times (-0.006) + Q_{20} \times 0.004 + 0.009$	

جدول ۵- خلاصه‌ی اجرای آزمون دوربین- واتسون.

منطقه‌ی اقلیمی	ضریب همبستگی	ضریب تعیین	ضریب تعیین تعدیل شده	خطای برآورد استاندارد	ضریب دوربین- واتسون
خشک	۰/۸۰۲	۰/۶۴۳	۰/۵۵۷	۱۲/۸۲۶	۱/۸۲۲
نیمه‌خشک	۰/۵۵۴	۰/۳۰۷	۰/۰۲۵	۹/۲۲۹	۲/۳۲۴
بسیار مرطوب	۰/۸۳۵	۰/۶۹۷	۰/۶۹۱	۱۲/۰۶۴	۲/۱۵۸
مرطوب	۰/۸۲۳	۰/۶۷۸	۰/۵۳۸	۷/۰۷۰	۱/۵
نیمه‌مرطوب	۰/۶۵۸	۰/۴۳۳	۰/۰۱۶	۸/۳۱۲	۱/۶۳۳
مدیترانه‌یی	۰/۷۴۱	۰/۵۴۹	۰/۴۳۱	۹/۷۴۴	۲/۲۴۵



شکل ۳- نمونه‌یی از توزیع فراوانی خطاها در شبیه‌سازی‌های منطقه‌ی اقلیمی نیمه‌خشک.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش آبدهی بیشینه‌ی لحظه‌یی با دوره‌ی بازگشت ۵۰ ساله در واحد سطح حوزه شاخص سیل خیزی گرفته شد. نتیجه‌های تحلیل عاملی با ۱۵ سنجه‌ی آب‌شناسی، اقلیمی و هندسی مؤثر بر سیل خیزی در منطقه‌های مختلف اقلیمی نشان داد که سنجه‌های مشترک در عامل اول مولفه‌های مختلف جریان و سنجه‌های مرتبط با مشخصه‌ی ذاتی حوزه، مانند شماره‌ی منحنی و نفوذپذیری حوزه است، که در همه‌ی منطقه‌های اقلیمی در مرتبه‌ی اول تأثیرگذاری است. بارش و مشخصه‌های آن مهم‌ترین مولفه‌ی مرتبط با سیل خیزی دانسته می‌شود، ولی اندازه‌ی متوسط سالانه‌ی بارش فقط در منطقه‌ی بسیار مرطوب در دسته‌ی عامل اول، و در سایر منطقه‌ها در مرتبه‌ی بعدی تأثیرگذاری است. شاخص‌های بخش پرابی منحنی تداوم جریان در همه‌ی منطقه‌های اقلیمی در مرتبه‌ی اول تأثیرگذاری و در قالب عامل اول جا گرفت، که برای هدف برآورد و پیش‌بینی کردن سیل خیزی توصیه می‌شود و کاربرد دارد. مقایسه‌ی مولفه‌های تأثیرگذار در منطقه‌های مختلف اقلیمی نشان داد که وزن و مرتبه‌ی تأثیرگذاری سنجه‌ها بر سیل خیزی حوزه‌ها در منطقه‌های مختلف اقلیمی متفاوت است. عامل‌های منتخب برای تحلیل عاملی در همه‌ی منطقه‌ها حدود ۸۰٪ از پراکنش داده‌ها را تشریح می‌کند. بهنجاربودن توزیع خطاها در

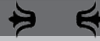
رابطه‌های وایزی همه‌ی منطقه‌های اقلیمی و ضریب دوربین-واتسن بین ۱/۵ تا ۲/۵ بیانگر بودن امکان اعتماد به رابطه‌ها است. بر پایه‌ی این که پیش‌نیاز تحلیل متناسب با واقعیت، انتخاب صحیح سنجه‌های مؤثر بر سیل خیزی است، و این که در این تراز از پژوهش، استخراج کردن برخی سنجه‌های مؤثر مقدور نبود، پیشنهاد می‌شود در مقیاس‌های دقیق‌تر در پژوهش‌های آینده، سنجه‌های دیگری برای افزایش دادن دقت تحلیل و توجیه کردن پراکنش داده‌ها به تحلیل عاملی اضافه شود. عامل‌های مرتبط با سایر مولفه‌های بارش، مانند شدت، مدت، فراوانی، مساحت پهنه‌های سیل‌گیر، و مشخصه‌های زمین‌شناسی زیرسطحی، جهت لایه‌های زمین‌شناسی، چگالی گسل‌ها و درز و شکاف‌ها، و ملاحظه‌های مرتبط با زمین‌شناسی کارست نیز در جایگاه عامل‌های مؤثر بر سیل خیزی به فهرست افزوده شود.

### سپاس‌گزاری

این پژوهش برگرفته از بخشی از نتیجه‌های طرح تحقیقاتی ملی «تهیه و توسعه‌ی اطلس و آماده‌سازی داده‌های زمانی و مکانی سیل در حوزه‌های رده‌ی هفت (شناسه‌ی ۹۴۰۰۱-۹۴۵۱-۲۹-۲۹-۰۱۴) است که در پژوهشکده‌ی حفاظت‌خاک و آبخیزداری به انجام رسیده است. بدین وسیله از همراهی و همکاری مسئولان محترم پژوهشکده تشکر می‌شود.

- Abedini M, Khoshkhoy- Delshad A. 2016. Investigation of factors affecting on flood in Hovigh catchment using ANP model, First International Conference on Natural Hazards and Environmental Crisis of Iran, Solution and Challenges, Water Resource Center, Shahre-Kord University, pp. 1–20. (In Persian).
- Arabkhedri M. 1995. Estimation of flood using catchment characteristics, proceeding of water resource management, Regional Conference, Isfahan. Industrial University of Isfahan, pp. 213–227. (In Persian).
- Bar-Kochba Y, Simon AL. 1972. Factors affecting floods from watersheds in humid region of north-eastern OHAIO. *Journal of the American Water Resources Association*, 8(6):1235–1245.
- Benson MA. 1963. Factors influencing the occurrence of floods in a humid region of diverse terrain, US Department of the Interior, Geological Survey, 1580-B: 1–64.
- Berghuijs WR, Woods RA, Hutton CJ, Sivapalan M. 2016. Dominant flood generating mechanisms across the United States. *Geophysical Research Letters*, 43(9): 4382–4390.
- Blöschl G, Gaál L, Hall J, Kiss A, Komma J, Nešter T, Salinas JL. 2015. Increasing river floods: Fiction or reality? *Wiley Interdisciplinary Reviews. Water*. 2(4): 329–344.
- Bouchard JRTJ, Loehlin JC. 2001. Genes, evolution, and personality. *Behavior Genetics*, 31(3):243–273.
- Daštorani MT, Hayatzade M. 2010. Evaluation of the most important factors effecting maximum flood discharge using sensitivity analysis of empirical formulae. *Arid Biom Scientific and Research Journal*, 1(1):1–12. (In Persian).
- Daštoorani M, Hayatzadeh M, Fathzadeh A, Hakimzadeh M. 2014. Review the efficiency of empirical relations on estimating the peak flow rate of flood in arid areas of central Iran, 12(36):145–160. (In Persian).
- Gao H, Cai H, Duan Z. 2018. Understanding the impacts of catchment characteristics on the shape of the storage capacity curve and its influence on flood flows. *Hydrology Research*, 49(1): 90–106.
- Gerbing DW, Hamilton JG. 1996. Viability of exploratory factor analysis as a precursor to confirmatory factor analysis. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 3(1):62–72.
- Guhathakurta P, Sreejith OP, Menon PA. 2011. Impact of climate change on extreme rainfall events and flood risk in India. *Journal of Earth System Science*, 120(3): 359–373.
- Hashemi M, Hashemi A, Rezaei P, Hashemi A. 2012. Investigation of the most important flooding factors of Zar-Abad catchment, 3Th National Conference on Desertification and Sustainable Development of Iran, Arak, Azad University, pp.1180–1185. (In Persian).
- Jalali H. 1986. Investigation of Iran floods, First Conference on Hydrology of Iran. Ministry of Energy Press, pp. 37–102, (In Persian).
- Kazemi R, Porhemmat J, Sharifi F. 2018. Investigation and determination of factors affecting the shape of the flow duration curve in different climates of Iran, *Journal of Water and Soil Conservation*. 25(1): 85–105. (In Persian).
- Khairizade AAM, Maleki J, Amoonia H. 2013. Zooning of flood risk potential occurrence in Mardaghchay Basin using ANP model. *Quantitative Geomorphologic Research*, 1(3):39–56. (In Persian).
- Langhammer J, Vilímek V. 2008. Landscape changes as a factor affecting the course and consequences of extreme floods in the Otava river basin, Czech Republic. *Environmental Monitoring and Assessment*, 144(1–3): 53–66.
- Mahdavi M, Hashemi A. 1997. Determination of medium discharge from physical factors in

- Semnan Province, Pajohesh and Sazandegi, 10(36):18–21. (In Persian).
- Mahdavi M, Jamali A, Ayoubzadeh SA, Vafakhah M. 2004. A sensitivity study of some hydrologic empirical methods for estimating flood peak as related to drainage area in watersheds in Iran, *Iranian Journal of Natural Resources*, 57(3): 403–414. (In Persian).
- Mahdavi M. 1999. Flood management, first stage studies, the United Nations Development Program (UNDP), the national plan for the prevention and control of natural disasters, ministry of the interior, Iran. 110 p. (In Persian).
- Malekinezhad H, Kowsari MR. 2009. Sensitivity analysis and relative importance assessment of the main factors on peak discharge in curve number-scs method, *Iranian Journal of Watershed Management Science*, 2(5): 31–40. (In Persian).
- Milly PC, Betancourt J, Falkenmark M, Hirsch RM, Kundzewicz ZW, Lettenmaier DP, Stouffer RJ. 2008. Stationarity is dead: Whither water management? *Science*, 319(5863):573–574.
- Montanari A, Young G, Savenije HHG, Hughes D, Wagener T, Ren LL, ... & Blöschl G. 2013. Panta Rhei—everything flows: change in hydrology and society—the IAHS scientific decade 2013–2022. *Hydrological Sciences Journal*, 58(6):1256–1275.
- Mosaffaie J, Malekinezhad H. 2017. Peak flow estimation in ungagged catchments using flow index. *Iran Watershed Management Science and Engineering*, 11(37):85–89. (In Persian).
- Najafi A, Nasri M. 2010. Effective factors in flood of Esfahan-Sirjan watershed employing factor analysis method, *Geography and Environmental Planning (University of Isfahan)*, 20(4-36):101–118. (In Persian).
- Nie C, Li H, Yang L. 2012. Spatial and temporal changes in flooding and the affecting factors in China. *Nat Hazards* 61(2):425–439.
- Pohl B, Macron C, Monerie PA. 2017. Fewer rainy days and more extreme rainfall by the end of the century in Southern Africa. *Scientific Reports*, 7(1): 1–7.
- Porhemmat J. 2016. A model on investigation on flood hazard over watersheds of Iran. *Iran Watershed Management Science and Engineering*, 10(34):1–14. (In Persian).
- Porhemmat J. 2017. Preparing and integrating digital data and maps of 7Th order watersheds and developing spatial, temporal and thematic database related to water capacity. (SCWMRI) Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran. Code No. 014-29-29-9451-94003. 120 p. (In Persian).
- Porhemmat J, Kazemi R. 2017. Regional modeling and evaluation of runoff coefficient in Karkhe basin, *Journal of Watershed Management Research*, 8(15): 82–91. (In Persian).
- Stonestrom DA, Scanlon BR, Zhang L. 2009. Introduction to special section on impacts of land use change on water resources. *Water Resources Research*, 45(7):1–3.



## ***Watershed Management Research***

VOL. 34, No. 1, Ser. No: 130, Spring 2021, pp.59 -73  
DOI: 10.22092/wmej.2020.342597.1330

### **An Analysis of the factors Affecting Flooding Severity in Iran**

#### **Rahim Kazemi**

(Corresponding Author)\* Assistant Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

#### **Jahangir Porhemmat**

Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

Corresponding Author Email: [ra\\_hkazemi@yahoo.com](mailto:ra_hkazemi@yahoo.com)

Received: 13 April 2020

Accepted: 20 September 2020

#### **Abstract**

Understanding the flooding phenomenon and its effective factors is an essential prerequisite of its control and management. This phenomenon is influenced by hydrological, climatic and physiographic factors, as it has always been one of the most important issues in hydrology. Using the overlapping of the climate and the border maps of the country, catchments of each climatic region were demarcated. Furthermore, 314 hydrometry stations with a common period (1976-2011) in six climatic zones were selected. The instantaneous peak discharge value was calculated for a 50-year return period. 15 hydrological, climatic and physiographic parameters affecting the flood severity, namely average altitude, catchment area, the Gravelius coefficient, the slope, the main river length, the annual average precipitation, the average number of rainy days, the base flow index (BFI), the hydrograph recession-coefficient (K), the curve number (CN), the permeability and the flow duration curve indices (FDC indices) of, Q<sub>2</sub>, Q<sub>5</sub>, Q<sub>10</sub>, Q<sub>20</sub>, were calculated for each catchment. The factor analysis after data standardization was performed in order to select the most important independent factors affecting flooding severity for each climatic region and the regression between the Flooding severity index and the selected factors in different climate zones were extracted and analyzed. Results indicated that the parameters used in all of the climatic regions explained more than 74% of the variance of the data. Common parameters in the first class of effective factors in all of the climatic zones were different flow parameters of (BFI, K, FDC indices), along with some parameters that were related to the intrinsic characteristic of the catchment, such as the CN and permeability. The flow exceedance value of, Q<sub>2</sub>, Q<sub>5</sub>, Q<sub>10</sub>, Q<sub>20</sub> in all of the climatic zones were ranked first and may be recommended for estimation and prediction in the ungauged catchment. The normal distribution of errors and the coefficient of Durbin Watson (between 1.5 and 2.5) reflect the confidence of the regression equations to estimate the Flooding severity in the ungauged catchments in the different climatic zones.

■ **Keywords: Climate zone, estimation, factor analysis, flood intensity, flow characteristics** ■