

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره نهم، شماره ۲۵، پاییز ۱۳۹۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۰۳

تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۰۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۱۱

صفحات: ۱۵۶ - ۱۴۱

مقاله علمی پژوهشی

تجزیه و تحلیل رفتار فصلی رخدادهای سیل و تغییرات زمانی آن در آبخیزهای هیرکانی (مطالعه نمونه: آبخیزهای حوضه رودخانه گرگانرود)

اکرم لالوزایی^۱، امیر سعدالدین^{۲*}، آرش زارع گاریزی^۳، واحد بردی شیخ^۴

۱. دانشجوی دکتری گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳. استادیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۴. دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده

شناسایی رفتار فصلی وقوع سیل و تغییرات آن در طی زمان در حوزه‌های آبخیز، امکان ادارک بهتر فرآیندهای وقوع سیل، طرح‌ریزی بهتر پروژه‌های آبی و مدیریت بهتر ریسک سیل را فراهم می‌کند. "آمار جهتی" یک مبنای مفید برای تعیین معیارهای تشابه زمان وقوع سیل است و برای تحلیل فصلی بودن زمان وقوع سیل‌ها کاربرد دارد. روش مذکور در مجموعه‌ای از ۲۰ ایستگاه هیدرومتری در حوضه رودخانه گرگانرود واقع در شمال کشور دارای پایه زمانی مشترک ۴۸ ساله، برای تعیین فصلی بودن رویدادهای سیل و بررسی تغییرات آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور دو شاخص MDF و \bar{T} که به ترتیب بیانگر میانگین زمان وقوع سیل و یکنواختی تاریخ وقوع آن‌ها (درجه‌ی فصلی بودن سیل) است، برای بررسی ویژگی‌ها محاسبه شد. همچنین، به منظور بررسی تغییرات طولانی‌مدت از نظر روز وقوع سیل در طی زمان، کل دوره آماری مشترک داده‌های حداکثر لحظه‌ای به سه دوره‌ی ۱۶ ساله تقسیم شد که به صورت گذشته‌ی دور، گذشته‌ی نزدیک و حال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که میانگین زمان وقوع عمده سیل‌ها در حوضه رودخانه گرگانرود در دو فصل بهار و تابستان است و حدود ۷۵٪ ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه، دارای $0.3 \leq \bar{T} \leq 0.7$ می‌باشند که نشان‌دهنده‌ی شرایط بینابین است و در واقع نشان می‌دهد زمان وقوع رویدادها به طور متوسط در یک، دو یا سه فصل پراکنده شده‌اند. بررسی تغییرات فصلی سیل در بلندمدت نشان می‌دهد که میانگین زمان رویداد سیل در حوضه رودخانه گرگانرود از گذشته تاکنون تغییر معنی‌داری نکرده و فقط درجه فصلی آن دچار تغییر شده است به نحوی که درجه فصلی بودن سیل از گذشته تاکنون در حال کاهش است. وجود ترکیبی از فرایندهای مختلف تولید سیل از قبیل ذوب برف و بارندگی‌های تابستان یا پاییز، تأثیر توأم موقعیت جغرافیایی و اندازه حوزه‌های آبخیز می‌تواند دلیل کاهش درجه فصلی سیل در این حوضه باشد.

واژگان کلیدی: دبی حداکثر لحظه‌ای، رفتار فصلی سیل، آمار جهتی، فرایند ایجاد سیل، حوضه رودخانه گرگانرود.

مقدمه

بررسی تغییرات فصلی فرآیندهای مختلف هیدرولوژیکی و ویژگی‌های آن‌ها در ارتباط با مدیریت منابع آب، منطقه-بندی، مدیریت سیل، کاربری اراضی و تغییرات اقلیمی توجه محققان را به خود جلب کرده است. مطالعات ارزیابی تعیین فصلی بودن سیل برای بسیاری از برنامه‌های کاربردی در هیدرولوژی و مدیریت منابع آب از قبیل پیش‌بینی جریان فصلی، مدیریت دشت‌های سیلابی، حفاظت از حوضه رودخانه در برابر وقوع سیل و عملیات زیرساختی منابع آب مورد نیاز است و به عنوان یک شاخص مهم برای تحقیق درباره فرایندهای تولید سیل بکار می‌رود (بلوچل^۱ و همکاران، ۱۹۹۹؛ دمیچل و روسو^۲، ۲۰۰۲). علاوه بر این موارد، بسیاری از مسائل از قبیل حضور موجودات زنده آبی و ساحلی در رودخانه، جوامع انسانی استفاده کننده از کانال‌های رودخانه‌ای و دشت‌های سیلابی نیاز به اطلاعات فصلی بودن سیل دارند (آریاس^۳ و همکاران، ۲۰۱۳؛ گاردینر^۴، ۱۹۹۴؛ اورداد^۵ و همکاران، ۲۰۰۰؛ روبرتسون^۶ و همکاران، ۲۰۰۱). فصلی بودن سیلاب رودخانه نشان دهنده مکانیسم‌های مختلف تولید سیل در یک حوضه است (برقاجس^۷ و همکاران، ۲۰۱۶؛ کولینس^۸ و همکاران، ۲۰۱۴؛ هیرچبوک^۹، ۱۹۸۸) و تغییرات در فصلی بودن سیل ممکن است نشان دهنده تغییرات مکانیسم‌های تولید سیل (کاندرلیک و اورداد^{۱۰}، ۲۰۰۹؛ یی^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۷) و تعاملات آنها همراه با پیامدهای مهمی برای زیستگاه‌ها، زیرساخت‌های دشت‌های سیلابی و جوامع انسانی باشد. فصلی بودن سیل به عنوان یک متغیر برای طبقه‌بندی‌ها در تجزیه و تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیل و یا به طور کلی برای تعیین و دسته‌بندی حوضه‌های هیدرولوژیکی همگن در مناطق مورد مطالعه بکار می‌رود (بلک^{۱۲}، ۱۹۹۴؛ بلک و وریتی^{۱۳}، ۱۹۹۷؛ بلوچل و همکاران، ۱۹۹۹؛ برن^{۱۴}، ۱۹۹۷؛ دمیچل و روسو، ۲۰۰۲؛ لیسسی^{۱۵}، ۲۰۰۰). تعیین مناطق در تجزیه و تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیل بر اساس شباهت حوزه‌ها در فصلی بودن سیل تعیین می‌شوند (برن، ۱۹۹۷؛ کاندرلیک و برن، ۲۰۰۲؛ لیسسی، ۲۰۰۰؛ اورداد و همکاران، ۲۰۰۰). علاوه بر این در مدل‌های فراوانی فصلی سیل اطلاعات فصلی برای جداسازی توزیعات مختلط تولید سیل با مکانیسم‌های اتمسفری مختلف استفاده می‌شود (هیرچبوک، ۱۹۸۸؛ اورداد و همکاران، ۱۹۹۳). فصلی بودن سیل‌ها اغلب در مشخصات شدت - مدت - فراوانی سیل‌ها نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند (جاوول^{۱۶} و همکاران، ۲۰۰۳). بنابراین مطالعه فصلی سیل در مسائل مختلف مدیریت منابع آب ضروری می‌باشد، در این زمینه مطالعات مختلفی انجام شده است.

1 - Blöschl

2 - De Michele and Rosso

3 - Arias

4 - Gardiner

5 - Ouarda

6 - Robertson

7 - Berghuijs

8 - Collins

9 - Hirschboeck

10 - Cunderlik and Ouarda

11 - Ye

12 - Black

13 - Black and Werritty

14 - Burn

15 - Lecce

16 - Javelle

لیسی (۲۰۰۰) الگوهای فصلی وقایع سیل را در جنوب شرقی ایالات متحده آمریکا شناسایی کرده و با استفاده از روش‌های آماری مستقیم، فراوانی وقوع رویدادهای سیل ماهانه‌ی حاصل از سری حداکثر سالانه را با تجزیه و تحلیل خوشه‌ای، طبقه‌بندی کرد. ارزیابی کارتوگرافی از نتایج، منجر به تعیین پهنه سیل با رژیم‌های مختلف شد. آرچر^۱ (۲۰۰۳) ویژگی‌های گسترده رژیم‌های هیدرولوژیکی را در حوضه اینداس با استفاده از داده‌های جریان ۱۹ ایستگاه دارای آمار طولانی‌مدت از نظر رواناب فصلی و سالانه مورد بررسی قرار داد. سیوآپالان^۲ و همکاران (۲۰۰۵) به تاثیر شدید فصلی بودن سیل در احتمالات سیل اشاره دارند. این ارتباط به تاثیر مستقیم شرایط جوی و تاثیر غیر مستقیم بارش و تبخیر- تعرق بر فصلی بودن سیل تاکید می‌کند. آنها نشان دادند، تعیین درجه فصلی بودن سیلاب بیشتر ابزاری برای منطقه‌بندی سیل فراهم می‌کند و شامل اطلاعاتی است که می‌تواند مربوط به احتمالات سیل باشد. برتون و تیکن^۳ (۲۰۰۹)، توزیع فصلی حداکثر سیل سالانه را در ۴۸۱ ایستگاه هیدرومتری در سراسر آلمان مورد تجزیه و تحلیل و آنالیز خوشه‌ای قرار دادند. نتایج منجر به تهیه‌ی یک نقشه جدید با سه منطقه که نشان دهنده رژیم‌های همگن سیلاب بود شد: خوشه A در بخش غربی و مرکزی آلمان دارای سیل زمستانه؛ خوشه B با مرکزیت در شمال و شرق آلمان که درصد سیلاب تابستانی و بهاری در آن بالاتر از خوشه A است و یک خوشه کوچک C در جنوب آلمان که تحت سلطه سیل تابستانی است. وقوع حداکثر رویدادهای سیلاب مشاهده شده در سه خوشه به خوبی با فصلی بودن عمومی سیل مطابقت دارد. کترولیس^۴ و همکاران (۲۰۱۰) فصلی بودن سیل و ویژگی‌های هیدرومتئورولوژیکی آن را در جزیره کریت بررسی کردند. ویژگی‌های هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص‌های فصلی در مجموعه‌ای از ۵۳ ایستگاه دارای بارش روزانه و همچنین ۱۵ ایستگاه دارای جریان روزانه و ۷ ایستگاه دارای جریان ماهانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج کار این محققان نشان داد که فصلی بودن رویدادهای سیلاب با فصلی بودن بارش حداکثر روزانه در ماه‌های نوامبر و دسامبر با هم سازگار است و حداکثر جریان سالانه در کریت، تقریباً یک ماه از بارندگی روزانه حداکثر عقب‌تر است. کولپین^۵ و همکاران (۲۰۱۴) فصلی بودن و بزرگی سیل را در سوئیس تحت تاثیر تغییرات اقلیمی آینده مورد تحقیق قرار دادند. اطلاعات در مورد این تغییرات برای سیاست‌های حفاظت در برابر سیل و یا تجزیه و تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیل مورد نیاز بود. تغییرات با استفاده از آمار میانگین سیلاب سالانه و در یک دوره ۲۲ ساله برای ۱۸۹ حوضه در سوئیس و تحت دو دوره سناریو اقلیمی تحلیل شد. نتایج نشان داد تغییر در شبیه‌سازی فصلی سیل تابعی از تغییر در نوع رژیم جریان است و اگر ذوب و انباشت برف در حوزه‌ای به عنوان مورد مهمی تلقی شود، در تعیین شدت فصلی بودن سیل نیز سهم بسزایی دارد یا اگر بارندگی تابستانی در سناریوها کاهش یابد بر میزان فصلی بودن سیل (میانگین زمان وقوع سیل) تاثیر می‌گذارد و منجر به کاهش قدرت فصلی می‌شود. کولینس^۶ و همکاران (۲۰۱۴) فصلی بودن سیلاب را برای ۲۲ ایستگاه در سراسر نیوانگلند و آتلانتیک کانادا، با محاسبه فراوانی نسبی حداکثر سیلاب سالانه در چهار گروه فصلی: دسامبر- فوریه (DJF: زمستان)، مارس- می (MAM: بهار)، ژانویه - آگوست (JJA: تابستان) و سپتامبر - نوامبر (SON: پاییز)

¹- Archer

²- Sivapalan

³- Beurton and Thielen

⁴- Koutroulis

⁵- Köplin

⁶- Collins

بررسی کردند. آنها دریافتند که MAM نزدیک به ۶۰ درصد از کل سیل‌های سالانه را تشکیل می‌دهد و بیشترین نسبت فصلی مربوط به وقوع سیل در ۱۹ حوزه آبخیز می‌باشد. MAM به ویژه در سایت‌های شمالی و داخلی اهمیت داشت. DJF نیز مهم بود و ۲۲٪ از تمام سیل‌های سالانه به ویژه در مناطق ساحلی را به خود اختصاص داد. SON در برخی از قسمت‌های منطقه‌ی مورد مطالعه و حدود ۱۴٪ سیلاب سالانه را تشکیل می‌داد. سیل سالانه در تابستان (JJA) نیز ۵٪ رخ داده است. ویلارینی^۱ (۲۰۱۶) اخیراً به بررسی حداکثر سیل سالانه فصلی در سراسر ایالات متحده پرداخته است. نتایج او برای مناطق نیوا انگلند و میانه آتلانتیک، دوگانه بود. پیش‌بینی‌ها فصول چند ساله سیل را در شمال شرقی و با استفاده از آمار دورانی^۲ نشان داد. با وجود اینکه پیشرفت در استفاده از آمار دایره‌ای برای تعیین فصلی بودن سیل با سوابق سیل سالانه از نظر آماری متفاوت بود اما روش‌های او هنوز هم قادر به توصیف دقیق توزیع فصلی چند ماهه در سراسر منطقه نبود. یی^۳ و همکاران (۲۰۱۷) ماهیت فصول حداکثر سیل سالانه در ایالات متحده و تفاسیر مربوط به مکانیسم‌های تولید با تمرکز بر اندازه‌گیری آمار دایره‌ای از تنوع زمانی سالانه و مقایسه آن با تغییرات زمانی حداکثر بارندگی سالانه را بهبود بخشیدند. با وجود اینکه توزیع سیل‌های شمال شرقی ایالات متحده به طور کامل در نظر گرفته نشده بود اما بینش آنها در مورد اهمیت رطوبت خاک قبل از سیل در این منطقه ارزشمند بود. آنها همچنین روندهای زمانی را در تنوع زمانی سالانه از جمله جهت روند تحلیل کردند. کولینس^۴ (۲۰۱۹)، یک روش احتمالاتی برای شناسایی فصول سیل در حالت ماهانه برای ۹۰ حوضه در شمال شرقی ایالات متحده با جریان طبیعی از نظر شرایط مکانیسم‌های تولید سیل ارائه داد. نتایج نشان می‌دهد که زمان‌بندی سالانه سیل در سراسر منطقه دارای یک الگوی منحصر به فرد از نظر وقوع ماهانه سیل می‌باشد. در مطالعات داخلی کمتر به بحث فصلی سیل و استفاده از آن در برنامه‌ریزی‌های حوزه‌های آبخیز پرداخته شده است، فقط در مواردی سیل‌خیزی حوضه‌ها بررسی شده است. در استان گلستان رحمتی و همکاران (۱۳۹۴) به اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز این استان براساس روش نوین ترکیبی آنالیز مورفومتریکی و همبستگی آماری پرداختند. در ابتدا هشت پارامتر مورفومتریکی شامل نسبت انشعاب، تراکم زهکشی، ثابت نگهداشت آبراهه، فراوانی آبراهه، ضریب فرم، نرخ بافت زهکشی، نسبت ناهمواری و عدد ناهمواری به علت تأثیر زیاد در فرایندهای هیدرولوژیکی و فرسایش و رسوب حوضه‌های آبخیز انتخاب شدند. ارتباط بین پارامترهای مورفومتریکی و تعیین وزن تأثیر هر یک از آنها با استفاده از روش‌های همبستگی تاوی کندال و آنالیز مجموع وزنی تحلیل شد. نتایج اعتبارسنجی این تحقیق نشان داد که روش نوین اولویت‌بندی قادر به تعیین اولویت ترتیبی تمام زیرحوضه‌های آبخیز نبود، اما توانست زیرحوضه‌های با بیشترین اولویت را، اولویت دارترین زیرحوضه‌ها، برای اجرای اقدامات آبخیزداری شناسایی کند.

با توجه به اینکه فصلی بودن سیلاب رودخانه نشان دهنده مکانیسم‌های مختلف تولید سیل در یک حوضه است، لذا طبقه‌بندی فصلی سیل به عنوان یک شاخص مهم برای تحقیق درباره فرایندهای مهم هیدرولوژیکی می‌تواند بکار رود. طبق بررسی‌های انجام شده، تحلیل فصلی سیل تاکنون در هیچ یک از حوزه‌های آبخیز کشور انجام نشده است و وقوع رخداد‌های سیل در سال‌های اخیر در مواقع زمانی غیرمنتظره در طول سال باعث شده است که کارشناسان

¹- Villarini

²- Circular statistics

³-Ye

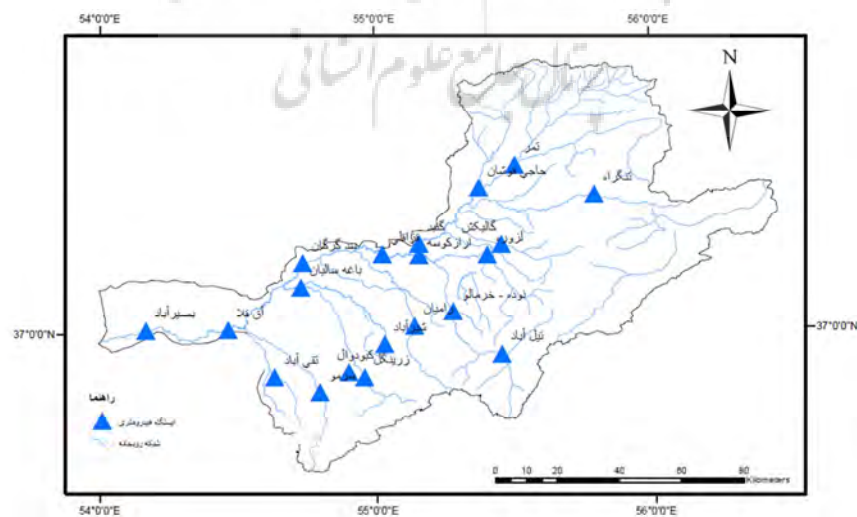
⁴-Collins

ذیربط موضوع تغییر زمان وقوع سیل‌ها به خاطر تغییرات اقلیمی را مطرح نمایند. بنابراین هدف اصلی این تحقیق شناسایی تغییرات فصلی وقوع سیل در حوضه رودخانه گرگانرود به عنوان یکی از حوزه‌های آبخیز با رخدادهای شدید و فراوان سیل در شمال کشور می‌باشد. با تحلیل فصول وقوع سیل در حوزه آبخیز، امکان ادارک بهتر فرآیندهای وقوع سیل، مدیریت بهتر پروژه‌های هیدرولوژیکی/ هیدرولیکی و مدیریت ریسک سیل فراهم می‌گردد. همچنین یکی دیگر از موارد اصلی کاربرد نتایج این تحقیق، در زمینه‌ی تجزیه و تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب و تعیین و دسته بندی حوضه‌های هیدرولوژیکی همگن می‌باشد.

داده‌ها و روش‌ها

الف- معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه رودخانه گرگانرود با مساحت ۱۰۱۹۷ کیلومتر مربع در بخش جنوب شرقی دریای خزر و بین طول جغرافیایی ۵۴ درجه و دو دقیقه و ۵۶ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۴ دقیقه و ۳۷ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی واقع شده است. حوضه رودخانه گرگانرود از شمال و شرق به حوضه رودخانه اترک، از جنوب به حوضه‌های آبخیز شاهرود، دامغان و از جنوب غربی به حوضه رودخانه نکا محدود می‌شود. در این حوضه ۳۳ ایستگاه هیدرومتری وجود دارد که براساس آمار دبی حداکثر لحظه‌ای سالیانه موجود در شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان با در نظر گرفتن پایه زمانی مشترک از سال ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۶، ۲۰ ایستگاه انتخاب گردید. براساس روش دومارتن اقلیم حوضه از نیمه خشک در شرق تا مرطوب در بخش‌های غربی متغیر است و میانگین بارندگی در این حوزه از ۲۸۷ میلی‌متر در تیل‌آباد تا ۹۵۳ میلی‌متر در پس پشته متغیر است. کاربری‌های کشاورزی، مرتع و جنگل کاربری اصلی حوضه می‌باشند. وقوع بارش‌های شدید به همراه تشکیلات زمین شناسی حساس و تغییر شدید کاربری اراضی از جنگل به اراضی دیم، سبب فراهم آمدن پتانسیل لازم برای ایجاد سیل می‌شود. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی حوضه رودخانه گرگانرود به همراه شبکه آبراهه و ایستگاه‌های هیدرومتری آن نشان داده شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه رودخانه گرگانرود به همراه شبکه آبراهه ای و ایستگاه‌های هیدرومتری

ب- شاخص فصلی سیل

در آغاز داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای سالیانه ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در حوضه گرگانرود از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان جمع آوری شد و ایستگاه‌های غیر قابل اطمینان حذف گردید. در مرحله‌ی بعد برای ۲۰ ایستگاه منتخب، یک دوره آماری مشترک از سال ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۶ در نظر گرفته شد و بازسازی نواقص آماری برای تکمیل آمار هر ایستگاه با استفاده از روش همبستگی انجام شد.

زمان وقوع سیل در هر سال و در هر ایستگاه برای استخراج شاخص‌های مختلف تحلیل فصلی مشخص گردید. زمان وقوع، یک شاخص مهم و ساده برای تعیین نوع سیل می‌باشد (مرز^۱ و همکاران، ۱۹۹۹). روش‌های مبتنی بر آمار جهتی^۲ یک مبنای مفید برای تحلیل زمان وقوع سیل می‌باشد (ماجیلیگان و گرابر^۳، ۱۹۹۶؛ ماردیا^۴، ۱۹۷۵). در این روش تاریخ وقوع دبی اوج سالانه به عنوان بردار جهت، برای هر رویداد سیل محاسبه می‌شود. برای تعیین زاویه این بردار از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود (برن، ۱۹۹۶؛ ریچاردس^۵، ۱۹۹۴).

$$\theta_i = (J \text{ Date})_i \left(\frac{2\pi}{365} \right) \quad 0 \leq \theta_i \leq 2\pi \quad (1)$$

در رابطه فوق: θ_i مقدار زاویه (بر حسب رادیان) برای تاریخ رویداد سیل i است. $J \text{ Date}$ روز وقوع سیل i در سال می‌باشد که مقدار آن بین ۱ (مربوط به روز ۱ فروردین) تا ۳۶۵ (مربوط به روز ۲۹ اسفند) متغیر است.

بدین ترتیب می‌توان تاریخ وقوع رخدادهای سیل را به صورت گرافیکی نمایش داد و همچنین میانگین زمان وقوع سیل را با استفاده از روابط زیر محاسبه کرد (برن، ۱۹۹۶).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(\theta_i) \quad (2)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sin(\theta_i) \quad (3)$$

که \bar{x} و \bar{y} به ترتیب میانگین طول و عرض بردارهای مربوط به n سیل را روی یک محور مختصات نشان می‌دهد. حال می‌توان مقدار زاویه‌ای میانگین تاریخ وقوع سیل ($\bar{\theta}$) را به صورت زیر محاسبه کرد:

$$\bar{\theta} = \tan^{-1} \left(\frac{\bar{y}}{\bar{x}} \right) \quad \text{for } \bar{x} \geq 0 \quad (4)$$

$$\bar{\theta} = \tan^{-1} \left(\frac{\bar{y}}{\bar{x}} \right) + \pi \quad \text{for } \bar{x} < 0 \quad (5)$$

سپس $\bar{\theta}$ می‌تواند با استفاده از فرمول زیر دوباره به شماره روز سال (۱ تا ۳۶۵) تبدیل شود که بیانگر میانگین زمان وقوع سیل در سال برای یک حوضه می‌باشد.

$$\text{MDF} = \bar{\theta} \frac{356}{2\pi} \quad (6)$$

انتظار می‌رود حوضه‌های با مقدار MDF مشابه، دارای ویژگی‌های هیدرولوژیکی و فیزیوگرافی مشابهی باشند و این مقدار به اندازه حوضه و در مورد سیل‌های ناشی از ذوب برف به محل جغرافیایی حوضه بستگی دارد (برن، ۱۹۹۷).

¹- Merz

²- Directional statistic

³- Magilligan and Graber

⁴- Mardia

⁵- Richards

برای گروهبندی ایستگاهها از نظر زمان وقوع سیل از روش شکست طبیعی استفاده گردید. روش بهینه‌سازی جنکس^۱؛ مشهور به روش نقاط شکست طبیعی است. این روش برای طبقه‌بندی داده‌ها طراحی شده است و برای مشخص کردن بهترین طرح فضایی از ارزشها در طبقه‌بندی‌های مختلف کاربرد دارد. این مدل به دنبال به حداقل رساندن انحراف معیار در هر طبقه از میانگین همان طبقه است. به عبارت دیگر، این روش به دنبال کاهش واریانس در طبقه و به حداکثر رساندن واریانس بین طبقه‌ها و گروه‌ها می‌باشد و بر آن اساس طبقه‌بندی خود را ارائه می‌دهد (جنکس، ۱۹۶۷).

علاوه بر محاسبه میانگین زمان وقوع سیل، تغییرات زمانی n رخداد سیل حول میانگین نیز می‌تواند از رابطه‌ی زیر محاسبه شود (برن، ۱۹۹۷).

$$\bar{r} = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \quad 0 \leq \bar{r} \leq 1 \quad (7)$$

این مقدار بین ۰ تا ۱ تغییر می‌کند که مقدار ۰ بیانگر عدم فصلی بودن (یعنی توزیع یکنواخت تاریخ وقوع سیل‌ها در تمام طول سال) است در حالی که مقدار ۱ نشان دهنده‌ی فصلی بودن شدید (یعنی تمرکز تمام سیل‌ها در یک روز مشخص در سال) می‌باشد.

در یک طبقه‌بندی جزئی‌تر مقدار \bar{r} را می‌توان در سه دسته $\bar{r} < 0.3$ ، $0.3 \leq \bar{r} \leq 0.7$ و $\bar{r} > 0.7$ قرار داد که $\bar{r} < 0.3$ نشان دهنده تغییرات زیاد و وجود فصول مختلف وقوع سیل در سال و در نتیجه مقدار فصلی ضعیف است به عبارتی این دسته عدم تمرکز زیاد وقوع حداکثر سیل سالانه را در یک فصل خاص نشان می‌دهد. عکس این مورد نیز برقرار است به طوری که $\bar{r} > 0.7$ نشان می‌دهند که فصل خاصی وجود دارد که اکثر سیل‌های حداکثر سالانه در آن رخ می‌دهد. مقدار $0.3 \leq \bar{r} \leq 0.7$ نیز نشان دهنده‌ی یک شرایط بینابین می‌باشد.

در این تحقیق تمامی پارامترهای ذکر شده در بالا از قبیل \bar{r} و MDF در هر کدام از ایستگاهها محاسبه شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین به منظور بررسی تغییرات فصلی سیل از گذشته تاکنون از نظر روز وقوع سیل در طی زمان، کل دوره آماری مشترک داده‌های حداکثر لحظه‌ای (۴۸ سال) به سه دوره‌ی ۱۶ ساله تقسیم شد و مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای فصلی بودن سیل برای هر دوره محاسبه گردید و تغییرات آنها از هر دوره به دوره بعد مورد تجزیه تحلیل قرار گرفت.

یافته‌های تحقیق

فراوانی وقوع رخدادهای سیلابی در حوضه آبخیز گرگانرود نسبت به بقیه حوضه‌ها در استان گلستان بیشتر است. بررسی سیلاب‌های ثبت شده در حوضه گرگانرود نشان می‌دهند، فصل وقوع عمده سیلاب‌ها به ترتیب در تابستان، بهار و پاییز است این در حالی است که رخداد سیلاب زمستانه (در پی وقوع بارش از نوع باران) تا قبل از سال ۱۳۹۷ در گرگانرود بسیار کم سابقه بوده است. بعبارت دیگر زمان و فصل وقوع پدیده سیلاب در طول سال گسترده شده است. در این تحقیق مقادیر پارامترهای محاسبه شده برای برآورد فصلی بودن سیل برای ایستگاه‌های موجود در

¹ - Jenks

حوضه رودخانه گرگانرود در جدول ۱ ارائه شده است. کمترین مقادیر \bar{x} مربوط به ایستگاه‌های تمر، گالیکش و تیل آباد می‌باشد و نشان می‌دهد که داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای در مواقع مختلف سال پراکنده بوده و در یک فصل خاص اتفاق نیفتاده و درجه فصلی بودن سیل بسیار ضعیف است. در مقابل آن ایستگاه‌های باغه سالیان، قزاقلی و آق قلا به ترتیب با مقادیرهای ۰/۸۲، ۰/۷۴ و ۰/۵۸ بیشترین میزان \bar{x} را دارا بودند که نشان از تراکم بالای تاریخ وقوع سیل حداکثر لحظه‌ای در فصلی خاص است و میزان فصلی بودن سیل در این ایستگاه‌ها قوی می‌باشد. چنین بنظر می‌رسد که در سرشاخه‌ها (بالادست) درجه فصلی بودن پائین و در آبراهه اصلی (پائین دست) درجه فصلی بودن بالاست. در حالت کلی ۱۵٪ از کل ایستگاه‌های حوضه رودخانه گرگانرود دارای $\bar{x} < 0.3$ هستند که نشان می‌دهد نظم خاصی در زمان وقوع برای رویدادهای سیل در این ایستگاه‌ها وجود ندارد و زمان وقوع سیل در تمام طول سال گسترده شده است و نمی‌توان فصلی که عمده سیلاب‌ها در آن اتفاق افتاده باشد را تعیین کرد. اما فقط حدود ۱۰٪ ایستگاه‌ها دارای $\bar{x} > 0.7$ می‌باشد. این ایستگاه‌ها در پایین‌دست حوضه و نیز پایین‌دست سدهای احداث شده بر روی شاخه اصلی گرگانرود واقع شده‌اند. بنابراین، ممکن است که زمان وقوع دبی حداکثر لحظه‌ای در آنها تحت تأثیر نقش تنظیمی سدها قرار گرفته باشد. مابقی ایستگاه‌های حوضه که بیشترین درصد (حدود ۷۵٪) را به خود اختصاص می‌دهند، دارای $0.3 \leq \bar{x} \leq 0.7$ می‌باشند که نشان‌دهنده‌ی شرایط بینابین است یعنی اینکه زمان وقوع رویدادهای سیل حداکثر لحظه‌ای در دوره‌ی مورد بررسی (۴۸ سال) نه در تمام طول سال پخش شده و نه در یک فصل خاص اتفاق افتاده است. در واقع زمان وقوع رویدادها به طور متوسط در یک، دو یا سه فصل پراکنده شده‌اند که با فراوانی وقوع ثبت شده در حوضه هم‌خوانی دارد.

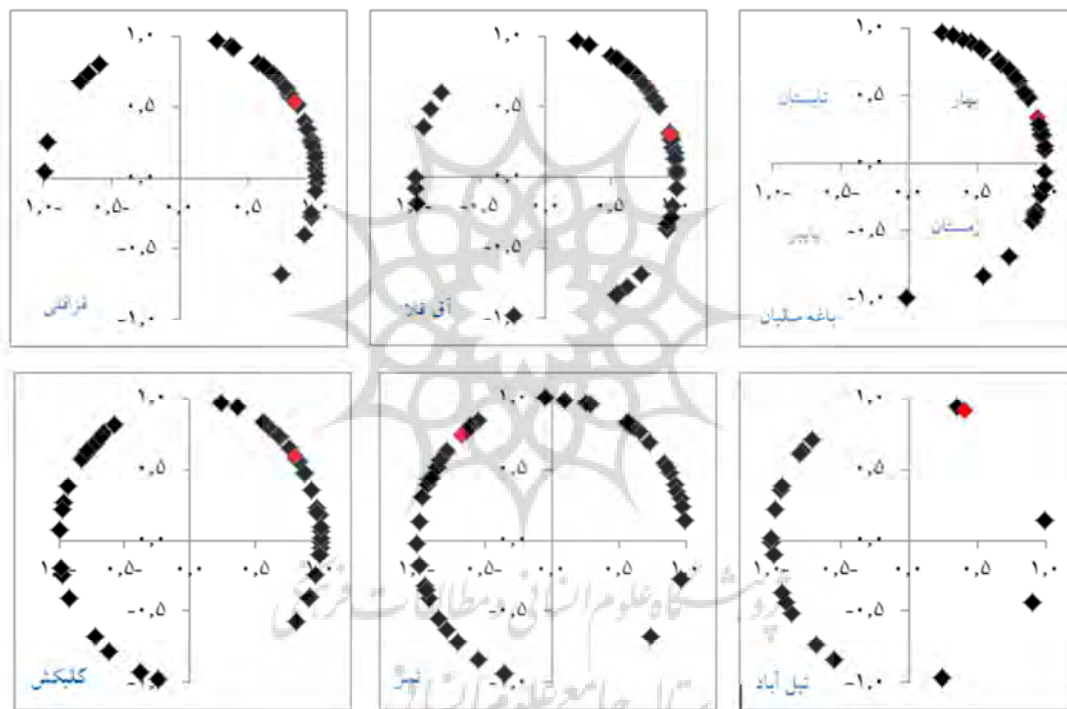
به‌طور کلی به نظر می‌رسد که درجه فصلی بودن سیل (میزان تمرکز زمان وقوع دبی حداکثر لحظه‌ای) در حوضه رودخانه گرگانرود تحت تأثیر توأم موقعیت جغرافیایی و اندازه حوزه‌های آبخیز باشد. کمترین میزان فصلی بودن در حوضه‌های با اندازه متوسط و کوچک و عمدتاً واقع در نیمه شرقی حوضه مشاهده می‌شود. این حوضه‌ها تحت تأثیر رژیم بارشی منطقه و اندازه کوچک آنها، معمولاً واکنش هیدرولوژیکی ناگهانی و نامنظمی دارند. در مقابل، ایستگاه‌های با حوزه آبخیز نسبتاً بزرگ و یا واقع در قسمت‌های غربی حوضه گرگانرود از نظر زمان وقوع سیل واکنش منظم‌تری داشته‌اند. البته نقش تنظیمی سدها که روی شاخه اصلی رودخانه احداث شده‌اند و در جهت جریان از شرق به غرب بر تعداد آنها افزوده می‌شود، نیز شایان توجه است. حوزه‌های آبخیز میانی (از نظر اندازه و محل قرارگیری در حوضه رودخانه گرگانرود) واکنش بینابینی (نسبتاً فصلی) دارند که بسته به اندازه و محل قرارگیری آنها درجه فصلی بودن آنها متغیر است.

جدول ۱: پارامترهای فصلی بودن سیل برای ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه رودخانه گرگانود در دوره ۴۸ ساله

x	y	θ_i	MDF	\bar{x}	ایستگاه	
۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۷۵	۴۳/۷۸	۰/۴۵	ارازکوسه	۱
۰/۵۴	۰/۲۱	۰/۲۴	۱۴/۱۸	۰/۵۸	آق قلا	۲
۰/۷۷	۰/۲۷	۰/۳۳	۱۹/۶۷	۰/۸۲	باغه سالیان	۳
۰/۵۶	۰/۰۳	۰/۰۶	۲/۷۴	۰/۵۶	بصیرآباد	۴
-۰/۰۶	۰/۳۰	۱/۷۶	۱۰۲/۷	۰/۳۰	تقی آباد	۵
-۰/۱۵	۰/۲۴	۲/۱۴	۱۲۴/۲	۰/۲۹	تمر	۶
۰/۴۵	۰/۳۳	۰/۶۳	۳۶/۸۸	۰/۵۷	تنگراه	۷
-۰/۲۰	۰/۳۴	۲/۱۱	۱۲۲/۸۴	۰/۳۹	حاجی قوشان	۸
۰/۳۴	۰/۳۱	۰/۷۳	۴۲/۸۶	۰/۴۶	رامیان	۹
۰/۳۵	۰/۳۹	۰/۸۳	۴۸/۷۰	۰/۵۳	زرینگل	۱۰
۰/۳۵	۰/۱۵	۰/۴۰	۲۳/۵۱	۰/۳۸	سد گرگان	۱۱
۰/۳۷	۰/۳۲	۰/۷۲	۴۲/۰۳	۰/۴۹	سرمو	۱۲
۰/۲۱	۰/۲۵	۰/۸۷	۵۰/۶۹	۰/۳۳	شیرآباد	۱۳
۰/۶۴	۰/۳۷	۰/۵۳	۳۰/۸۵	۰/۷۴	فزاقلی	۱۴
۰/۵۲	۰/۱۳	۰/۲۵	۱۴/۸۵	۰/۵۴	کبودوال	۱۵
۰/۱۷	۰/۲۱	۰/۸۹	۵۲/۱۴	۰/۲۸	گالیکش	۱۶
۰/۴۱	۰/۴۰	۰/۷۷	۴۴/۸۱	۰/۵۷	گنبد	۱۷
۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۷۹	۴۶/۳۱	۰/۳۸	لزوره	۱۸
۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۷۵	۴۳/۷۸	۰/۴۵	نوده - خرمالو	۱۹
۰/۱۷	۰/۲۱	۰/۸۹	۱۸۰	۰/۲۷	تیل آباد	۲۰

مقدار MDF در جدول ۱ نیز نشان دهنده‌ی میانگین روز وقوع رویدادهای سیل در سال است که می‌تواند نشانگر تشابه هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز باشد. برای مثال، در منطقه مورد مطالعه حوزه‌های آبخیز بالادست ایستگاه‌های هیدرومتری ارازکوسه، رامیان، سرمو و نوده خرمالو با مقدار MDF حدود ۴۳ دارای شرایط هیدرولوژیکی و فیزیوگرافی نزدیک به هم هستند. با استفاده از این شاخص می‌توان زیرحوضه‌های رودخانه گرگانود را به چند دسته از نظر خصوصیات مذکور تقسیم بندی نمود تا در مطالعات مشابه مورد استفاده قرار گیرند. شکل ۲ تقسیم بندی ایستگاه‌ها به ۳ گروه براساس میزان MDF (میانگین روز وقوع سیل در سال) با روش شکست طبیعی (Jenks) را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشخص است دامنه‌ای نسبتاً متوسط برای مقادیر میانگین تاریخ‌های وقوع سیل بین روز ۲ (۲ فروردین) و روز ۱۲۴ (۳۱ تیر) وجود دارد که نشان می‌دهد میانگین روز وقوع سیل در یک دوره ۴۸ ساله در دو فصل بهار و تابستان بوده است. بیشتر ایستگاه‌ها در دسته دوم که دارای میانگین روز وقوع سیل از روز

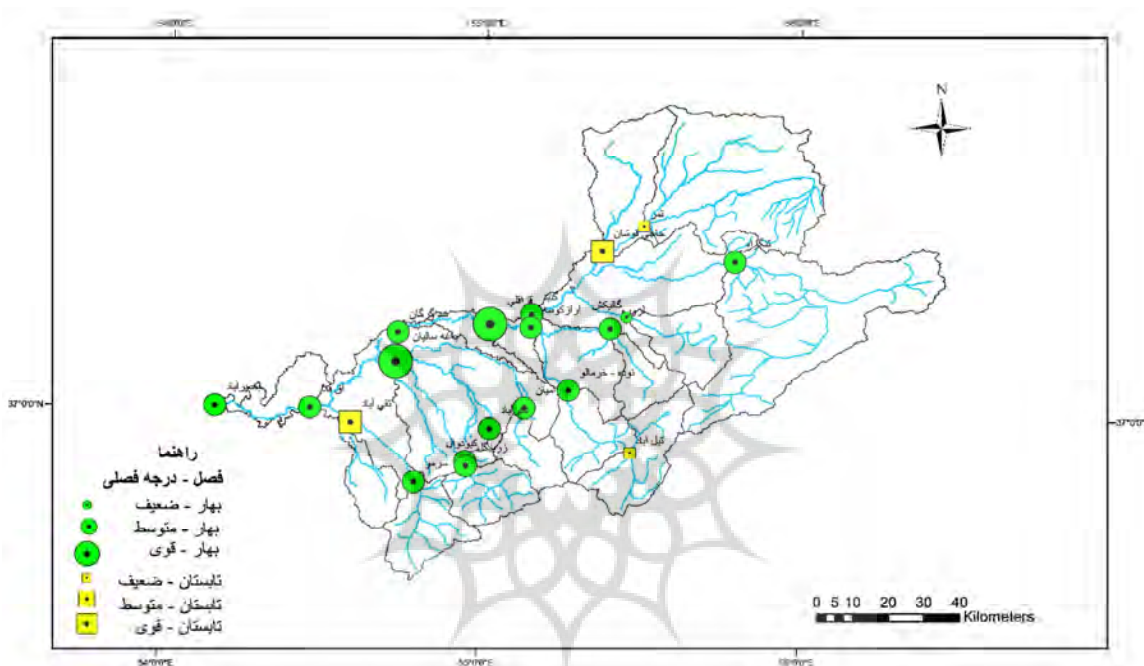
تیل آباد، تمر و گالیکش در ردیف دوم، از مقدار \bar{T} کمتر و نظم کمتری را در زمان وقوع سیل در طول سال نشان می‌دهد. به طوریکه رویدادهای سیل در تمام چهار فصل سال پراکنده شده‌اند و نمودار دایره‌ای به خوبی موید این نکته می‌باشد. وجود مخلوطی از مکانیسم‌های مختلف تولید سیل برای هر حوزه آبخیز می‌تواند دلیلی برای این پدیده باشد. حوضه‌ای که تنوعی از رویدادهای مختلف وقوع سیل ناشی از برف و بارندگی‌های تابستان یا پاییز را تجربه می‌کند، \bar{T} کمتری خواهد داشت. در واقع وجود مکانیسم‌های مختلف تولید سیل باعث کاهش ضریب سازگاری در زمان بندی سیل‌ها می‌شود که توسط \bar{T} قابل اندازه‌گیری است. وضعیت هر کدام از ۲۰ حوضه قابل تفسیر و بررسی با سایر حوضه‌ها می‌باشد.



شکل ۳: نمودار دایره‌ای پراکنش نقطه‌ای رویدادهای سیل در فضای تعریف شده توسط \bar{T} و \bar{L} برای ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب حوضه رودخانه گرگانرود

در شکل ۴ نقشه‌ی میانگین فصلی دبی حداکثر لحظه‌ای برای دوره ۴۸ ساله (۱۳۵۱-۱۳۹۶) در حوضه‌ی رودخانه گرگانرود تهیه گردیده است. در این نقشه با توجه به توضیحات بخش‌های قبل، نشان داده می‌شود که میانگین رویدادهای سیل در این حوضه فقط در دو فصل بهار و تابستان به وقوع پیوسته است که ایستگاه‌هایی که سیل بهاره در آن‌ها اتفاق افتاده به شکل دایره و ایستگاه‌هایی که شامل سیل تابستانه هستند به شکل مربع نشان داده شده‌اند. بنابراین فصل پاییز و زمستان در شکل مذکور وجود ندارد. اندازه بزرگی هر کدام از شکل‌ها درجه فصلی بودن سیل چه از نوع بهاره و چه از نوع تابستانه را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشخص است، قسمت اعظم حوزه تحت سلطه سیل‌های بهاره است که قسمت بیشتری از این سیل‌های بهاره از درجه فصلی متوسطی نیز برخوردار هستند.

حوزه‌های باغه سالیان و قزاقلی از درجه فصلی زیادی برخوردارند به این معنی که اغلب رویدادهای سیل به وقوع پیوسته در این حوزه‌ها در فصل بهار و با درجه فصلی بالا اتفاق افتاده است ولی در حوزه‌های تیل آباد و لزوره درجه فصلی بسیار ضعیف است و سیل‌ها در تمام طول سال پراکنش دارند. سیل‌های تابستانه در حوزه‌های تمر، حاجی قوشان، تقی آباد و تیل آباد غلبه دارند. درجه فصلی سیل‌های تابستانه در دو حوزه تمر و تیل آباد ضعیف بوده و در دو حوزه‌ی دیگر از درجه متوسطی برخوردار است.



شکل ۴: نقشه‌ی میانگین فصلی دبی حداکثر لحظه‌ای در حوضه رودخانه گرگانرود (۱۳۹۶-۱۳۵۱)

برای بررسی تغییرات رفتار فصلی سیل در سه دوره‌ی زمانی مقدار پارامترهای فصلی در این سه دوره ۱۶ ساله از سال ۵۱ تا ۹۶ در ۲۰ ایستگاه‌ها هیدرومتری محاسبه شد. نتایج این محاسبات در جدول ۲ نشان داده شده است. مقدار \bar{T} از دوره اول به دوره سوم در اکثر ایستگاه‌ها در حال نزول است یعنی درجه فصلی بودن سیل‌ها کاهش یافته است. به عبارت دیگر، به طور کلی، زمان وقوع سیل در حوضه رودخانه گرگانرود به سوی بی‌نظمی پیش می‌رود. این پدیده ممکن است علل مختلفی داشته باشد که نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد. در این بررسی‌ها باید تغییرات ادوات اندازه‌گیری، نحوه اندازه‌گیری و دقت اندازه‌گیری در طی زمان را نیز در نظر داشت و لحاظ نمود. در تعداد محدودی از ایستگاه‌ها نظیر نوده-خرمالو، قزاقلی و تمر درجه فصلی بودن سیل از دوره اول به دوره سوم افزایش یافته است. در مورد MDF در ایستگاه‌هایی که در محاسبات قبلی رویدادهای سیل مربوط به فصل بهار بود در این تقسیم‌بندی نیز این نتایج تایید می‌شود به طوری که در هر سه دوره مقدار عددی MDF در اکثر ایستگاه‌ها مربوط به فصل بهار و در روزهای مختلف آن می‌باشد. این نتایج برای حوزه‌هایی که تاریخ میانگین وقوع سیل در تابستان داشتند نیز صدق

می‌کند. بنابراین میانگین زمان رویداد سیل در حوضه رودخانه گرگانرود از گذشته تاکنون تغییر زیادی نکرده و فقط درجه فصلی آن دچار تغییر شده است.

جدول ۲: پارامترهای فصلی سیل برای سه دوره زمانی در ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه رودخانه گرگانرود

ردیف	ایستگاه	دوره	\bar{F}	MDF	ردیف	ایستگاه	دوره	\bar{F}	MDF
۱	ارازکوسه	۵۱-۶۵	۰/۵۹	۱۵/۲۷	۱۱	سدگرگان	۶۶-۸۰	۰/۴۷	۷۸/۴۷
		۸۱-۹۶	۰/۴۹	۲۳/۴۳					
		۵۱-۶۵	۰/۶۹	۱۴/۸۲					
۲	آق قلا	۶۶-۸۰	۰/۷۱	۷/۸۲	۱۲	سرمو	۸۱-۹۶	۰/۴۱	۲۴/۱۳
		۵۱-۶۵	۰/۶۴	۳۲/۲۷					
		۶۶-۸۰	۰/۵۲	۵۸/۲۴					
۳	باغه سالیان	۵۱-۶۵	۰/۷۸	۱۸/۹۱	۱۳	شیرآباد	۶۶-۸۰	۰/۸۷	۲۴/۱۵
		۸۱-۹۶	۰/۸۲	۱۶/۳۷					
		۵۱-۶۵	۰/۶۸	۳۲/۲۷					
۴	بصیر آباد	۶۶-۸۰	۰/۶۴	۹/۳۳	۱۴	قزاقلی	۸۱-۹۶	۰/۳۳	۳۵۲/۷
		۵۱-۶۵	۰/۷۷	۶/۱۰					
		۶۶-۸۰	۰/۶۶	۳۷/۸۱					
۵	تقی آباد	۶۶-۸۰	۰/۴۹	۱۰۹/۴۴	۱۵	کبودوال	۸۱-۹۶	۰/۳۰	۱۶۳/۹۹
		۵۱-۶۵	۰/۴۴	۳۸/۴۰					
		۶۶-۸۰	۰/۱۱	۱۱۳/۷۰					
۶	تمر	۶۶-۸۰	۰/۳۶	۱۲۲/۲۲	۱۶	گالیکش	۸۱-۹۶	۰/۷۵۷	۱۵۸/۰۴
		۵۱-۶۵	۰/۳۲	۳۶/۷۶					
		۶۶-۸۰	۰/۵۰	۱۰۵/۲۲					
۷	تنگراه	۶۶-۸۰	۰/۸۳	۳۲	۱۷	گنبد	۸۱-۹۶	۰/۳۲	۸۲/۳۴
		۵۱-۶۵	۰/۶۳	۲۰/۵۰					
		۶۶-۸۰	۰/۵۷	۶۸/۸۷					
۸	حاجی قوشان	۵۱-۶۵	۰/۳۳	۷۹/۲۴	۱۸	لزوره	۶۶-۸۰	۰/۵۶	۱۱۳/۵۱
		۸۱-۹۶	۰/۶۲	۱۵۰/۷۲					
		۵۱-۶۵	۰/۱۷	۷۹/۲۶					
۹	رامیان	۶۶-۸۰	۰/۳۷	۸۱	۱۹	نوده - خرمالو	۸۱-۹۶	۰/۴۳	۴۰/۹۳
		۵۱-۶۵	۰/۷۰	۲۳/۵۴					
		۶۶-۸۰	۰/۴۱	۵۴/۹۲					
۱۰	زرینگل	۵۱-۶۵	۰/۷۱	۳۳/۸۲	۲۰	تیل آباد	۶۶-۸۰	۰/۵۳	۶۳/۶۳
		۸۱-۹۶	۰/۴۰	۵۵/۳۱					
		۵۱-۶۵	۰/۱۶	۵۳/۲۵					

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف بررسی ویژگی‌ها و تغییرات فصلی رویدادهای سیل در حوضه رودخانه گرگانرود انجام گرفت. به طور کلی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که فصل وقوع عمده سیلاب‌ها در گرگانرود به ترتیب در بهار و تابستان است و میانگین زمان وقوع عمده‌ی رویدادهای سیل از گذشته تاکنون تغییرات زیادی نکرده و فقط درجه فصلی آن دچار تغییر شده است. به نظر می‌رسد که وجود مخلوطی از مکانیسم‌های مختلف تولید سیل و تأثیر توأم موقعیت جغرافیایی و اندازه حوزه‌های آبخیز می‌تواند دلیل کاهش درجه فصلی سیل (میزان تمرکز زمان وقوع دبی حداکثر لحظه‌ای) در این حوضه باشد. با استفاده از این نتایج امکان مدیریت بهتر منابع آب و پروژه‌های هیدرولوژیکی/هیدرولیکی و مدیریت ریسک فراهم می‌گردد و با اطمینان بیشتری در این زمینه‌ها تصمیم‌گیری خواهد شد. تحلیل‌های فصلی معرفی شده در این تحقیق، در تعیین تشابه/عدم تشابه بین حوزه‌ها قابل استفاده خواهد بود. جهت تعیین مقدار عددی این تشابه/عدم تشابه از فاصله اقلیدوسی بین حوزه‌ها براساس مختصات برداری x و y می‌تواند استفاده شود و هر چقدر مقدار این فاصله کم باشد نشان دهنده‌ی این است که حوزه‌های مربوطه از نظر تغییرات فصلی سیل مشابه یکدیگر هستند. در این مطالعه فقط دبی‌های حداکثر لحظه‌ای مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. جهت افزایش کارایی و دقت در این تحقیق پیشنهاد می‌شود با روشی مثل *peak over threshold* همه سیل‌ها را استخراج و تحلیل فصلی را براساس همه سیل‌ها انجام داد. علاوه بر آن علل دقیق تغییرات درجه فصلی سیل ریشه‌یابی نشد که لزوم انجام تحقیقات جزئی‌تر در این خصوص را می‌طلبد. علاوه بر اینها با توجه به اینکه تغییر در فصول سال، تغییرات در پوشش گیاهی و ذخیره رطوبتی خاک را به دنبال دارد، انجام تحقیقات تحلیل فراوانی وقوع سیلاب در فصول سال می‌تواند در این زمینه قابل توجه باشد.

منابع

- رحمتی امید، طهماسبی پور ناصر و پورقاسمی حمیدرضا (۱۳۹۴)، اولویت بندی سیلخیزی زیرحوضه های آبخیز استان گلستان براساس آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری، مجله اکوهیدرولوژی، دوره دوم، شماره ۲، ص ۱۶۱-۱۵۱.
- Archer, D. (2003). Contrasting hydrological regimes in the upper Indus Basin. *Journal of Hydrology*, 274(1-4), 198-210.
- Arias, M. E., Cochrane, T. A., Norton, D., Killeen, T. J., & Khon, P. (2013). The flood pulse as the underlying driver of vegetation in the largest wetland and fishery of the Mekong Basin. *Ambio*, 42(7), 864-876.
- Berghuijs, W. R., Woods, R. A., Hutton, C. J., & Sivapalan, M. (2016). Dominant flood generating mechanisms across the United States. *Geophysical Research Letters*, 43(9), 4382-4390.
- Beurton, S., & Thielen, A. H. (2009). Seasonality of floods in Germany. *Hydrological Sciences Journal*, 54(1), 62-76.
- Black, A. R. (1994). Seasonality of flooding in the white Laggan Burn, Kirkcudbrightshire. *Scottish Geographical Magazine*, 110 (3), 162-167.
- Black, A. R., & Werritty, A. (1997). Seasonality of flooding: a case study of North Britain. *Journal of Hydrology*, 195(1-4), 1-25.
- Blöschl, G., Piock-Ellena, U., Merz, R. & Gutknecht, D. (1999). Prozeßorientierte Regionalisierung von Hochwässern. *Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft Universität Kaiserslautern Berichte* 9, 267-285 (in German).
- Burn, D.H., (1996). The use of seasonality measures in hydrology. In: Brunelle, P.E., Editor. *Proceedings, Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering, Montreal, Quebec. vol. I. pp. 264-273.*
- Burn, D. H. (1997). Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures. *Journal of Hydrology*, 202(1-4), 212-230.
- Collins, M. J., Kirk, J. P., Pettit, J., DeGaetano, A. T., McCown, M. S., Peterson, T. C., ... & Zhang, X. (2014). Annual floods in New England (USA) and Atlantic Canada: synoptic climatology and generating mechanisms. *Physical Geography*, 35(3), 195-219.

- Collins, M. J. (2019). River flood seasonality in the Northeast United States: Characterization and trends. *Hydrological Processes*, 33(5), 687-698.
- Cunderlik, J. M., and D. H. Burn. (2002). The use of flood regime information in regional flood frequency analysis, *Hydrol. Sci. J.*, 47(1), 77– 92.
- Cunderlik, J. M., & Ouarda, T. B. (2009). Trends in the timing and magnitude of floods in Canada. *Journal of Hydrology*, 375(3-4), 471-480.
- De Michele, C., & Rosso, R. (2002). A multi-level approach to flood frequency regionalization. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 6(2), 185-194.
- Gardiner, J. (1994). Environmental impact of floods. In G. Rossi, N. B. Harmancioglu, & V. Yevjevich (Eds.), *Coping with floods* (pp. 529–548). Dordrecht: Springer.
- Hirschboeck, K. K. (1988). Flood hydroclimatology. In “Flood Geomorphology.”(VR Baker, RC Kochel, and PC Patton, Eds.). *Flood Geomorphology* (pp. 27–49).
- Javelle, P., Ouarda, T. B., & Bobée, B. (2003). Spring flood analysis using the flood-duration–frequency approach: application to the provinces of Quebec and Ontario, Canada. *Hydrological Processes*, 17(18), 3717-3736.
- Jenks, G. F. (1967). The data model concept in statistical mapping. *International Yearbook of Cartography*, 7, 186-190.
- Köplin, N., Schädler, B., Viviroli, D., & Weingartner, R. (2014). Seasonality and magnitude of floods in Switzerland under future climate change. *Hydrological Processes*, 28(4), 2567-2578.
- Koutroulis, A. G., Tsanis, I. K., & Daliakopoulos, I. N. (2010). Seasonality of floods and their hydrometeorological characteristics on the island of Crete. *Journal of Hydrology*, 394(1-2), 90-100.
- Lecce, S. A. (2000). Seasonality of flooding in North Carolina. *Southeastern Geographer*, 40(2), 168-175.
- Collins, M. J. (2019). River flood seasonality in the Northeast United States: Characterization and trends. *Hydrological Processes*, 33(5), 687-698.
- Magilligan, F. J., & Graber, B. E. (1996). Hydroclimatology and geomorphic controls on the timing and spatial variability of floods in New England, USA. *Journal of Hydrology*, 178(1-4), 159-180.
- Mardia, K. V. (1975). Statistics of directional data. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 37(3), 349-371.
- Merz, R., Piock-Ellena, U., Blöschl, G. & Gutknecht, D. (1999). Seasonality of flood processes in Austria. In: *Hydrological Extremes: Understanding, Predicting, Mitigating* (ed. by L. Gottschalk, J.-C. Olivry, D. Reed & D. Rosbjerg), 273–278. IAHS Publ. 255. IAHS Press, Wallingford, UK.
- Næsje, T., Jonssons, B., & Skurdal, J. (1995). Spring flood: a primary cue for hydrometeorological hatching of river spawning Coregoninae. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 52(10), 2190-2196.
- Ouarda, T. B., Haché, M., Bruneau, P., & Bobée, B. (2000). Regional flood peak and volume estimation in the northern Canadian basin. *Journal of Cold Regions Engineering*, 14(4), 176-191.
- Ouarda, T. B., Ashkar, F., & El-Jabi, N. (1993). Peaks over the threshold model for seasonal flood variations. In *Engineering Hydrology* (pp. 341-346). ASCE.
- Richards, K. (1994). Peaks-over-threshold flood database: Summary statistics and seasonality by Adrian C. Bayliss and Richard C. Jones, Institute of Hydrology Report No. 121, Natural Environment Research Council, 1993. No. of pages: 61. Price:£ 15. ISBN 0948-540-47-8. *Earth Surface Processes and Landforms*, 19, 675-675.
- Robertson, A. I., Bacon, P., & Heagney, G. (2001). The responses of floodplain primary production to flood frequency and timing. *Journal of Applied Ecology*, 38(1), 126-136.
- Sivapalan, M., Blöschl, G., Merz, R., & Gutknecht, D. (2005). Linking flood frequency to long-term water balance: Incorporating effects of seasonality. *Water Resources Research*, 41(6).
- Villarini, G. (2016). On the seasonality of flooding across the continental United States. *Advances in Water Resources*, 87, 80-91.
- Ye, S., Li, H. Y., Leung, L. R., Guo, J., Ran, Q., Demissie, Y., & Sivapalan, M. (2017). Understanding flood seasonality and its temporal shifts within the contiguous United States. *Journal of Hydrometeorology*, 18(7), 1997-2009.

Research Article

Analysis of seasonal behavior of flood events and their temporal changes for the Hyrcanian watersheds (Pilot study: watersheds of the Gorganrud River Basin, Iran)

Akram Lalouzaï¹, Amir Sadoddin^{2*}, Arash Zare Garizi³, Vahedberdi Sheikh⁴

1. PhD Student of Watershed Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

2*. Associate Professor, Watershed Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

3. Assistant Professor, Watershed Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

4. Associate Professor, Watershed Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

Received: 25-09-2019

Final Revised: 04-02-2020

Accepted: 01-03-2020

Abstract

Identifying the seasonal behavior of flood events and their changes over time in watersheds provide useful insights for a better understanding of flood processes, planning water projects, and managing flood risks. Directional statistics provide a good basis for determining the similarity between flood occurrence times and is useful for flood seasonality analysis. This method was applied to a set of 20 river gauge stations in the Gorganrud River Basin, located in the North of Iran, with a 48-year recording period, to identify the seasonality of flood occurrences as well as their variations. Two indices namely MDF and r which indicate the average time of flood occurrence and the uniformity of their occurrence date during the year (degree of seasonality), were calculated for the maximum instantaneous flow data, respectively. Also, in order to examine long-term changes in flood seasonality, the recording period of the maximum flow data was divided into three 16-year intervals representing the distant past, near past, and the present time and then the indices were calculated for each interval. The results show that the average time of flood occurrence in the Gorganrud River Basin is in springs and summers. Also, the majority of the stations (about 75%) have r values between 0.3 and 0.7, which indicates an intermediate degree of seasonality meaning that the time of occurrence of the events spreads over one, two or three seasons. Analysis of long-term changes in flood seasonality shows that the average time of flood events in the Gorganrud River Basin has not changed significantly from the past. The degree of seasonality, however, has decreased compared to the past period. A mixture of different flood generation processes such as snowmelt and summer or fall rainfalls and the combined influence of geographical location and the size of watersheds can be the possible reasons for the reduction in flood seasonality in this basin.

Keywords: Maximum instantaneous discharge, Flood seasonality, Directional statistics, Flood generation process, the Gorganrud River Basin.

* Corresponding Author Email: amir.sadoddin@gau.ac.ir

References

References (in Persian)

Rahmati, O., Tahmaspipoor, N., Pourghasemi, H. R., (2016), Sub-watershed flooding prioritization using morphometric and correlation analysis (Case study: Golestan Watershed), *Iranian Journal of Ecohydrology*, 2(2), 151-161. [In Persian]

References (in English)

- Archer, D. (2003). Contrasting hydrological regimes in the upper Indus Basin. *Journal of Hydrology*, 274(1-4), 198-210.
- Arias, M. E., Cochrane, T. A., Norton, D., Killeen, T. J., & Khon, P. (2013). The flood pulse as the underlying driver of vegetation in the largest wetland and fishery of the Mekong Basin. *Ambio*, 42(7), 864-876.
- Berghuijs, W. R., Woods, R. A., Hutton, C. J., & Sivapalan, M. (2016). Dominant flood generating mechanisms across the United States. *Geophysical Research Letters*, 43(9), 4382-4390.
- Beurton, S., & Thielen, A. H. (2009). Seasonality of floods in Germany. *Hydrological Sciences Journal*, 54(1), 62-76.
- Black, A. R. (1994). Seasonality of flooding in the white Laggan Burn, Kirkcudbrightshire. *Scottish Geographical Magazine*, 110 (3), 162-167.
- Black, A. R., & Werritty, A. (1997). Seasonality of flooding: a case study of North Britain. *Journal of Hydrology*, 195(1-4), 1-25.
- Blöschl, G., Piock-Ellena, U., Merz, R. & Gutknecht, D. (1999). Prozeßorientierte Regionalisierung von Hochwässern. *Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft Universität Kaiserslautern Berichte* 9, 267–285 (in German).
- Burn, D.H., (1996). The use of seasonality measures in hydrology. In: Brunelle, P.E., Editor. *Proceedings, Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering, Montreal, Quebec. vol. I. pp. 264–273.*
- Burn, D. H. (1997). Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures. *Journal of Hydrology*, 202(1-4), 212-230.
- Collins, M. J., Kirk, J. P., Pettit, J., DeGaetano, A. T., McCown, M. S., Peterson, T. C., ... & Zhang, X. (2014). Annual floods in New England (USA) and Atlantic Canada: synoptic climatology and generating mechanisms. *Physical Geography*, 35(3), 195-219.
- Collins, M. J. (2019). River flood seasonality in the Northeast United States: Characterization and trends. *Hydrological Processes*, 33(5), 687-698.
- Cunderlik, J. M., and D. H. Burn. (2002). The use of flood regime information in regional flood frequency analysis, *Hydrol. Sci. J.*, 47(1), 77– 92.
- Cunderlik, J. M., & Ouarda, T. B. (2009). Trends in the timing and magnitude of floods in Canada. *Journal of Hydrology*, 375(3-4), 471-480.
- De Michele, C., & Rosso, R. (2002). A multi-level approach to flood frequency regionalization. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 6(2), 185-194.
- Gardiner, J. (1994). Environmental impact of floods. In G. Rossi, N. B. Harmancioglu, & V. Yevjevich (Eds.), *Coping with floods* (pp. 529–548). Dordrecht: Springer.
- Hirschboeck, K. K. (1988). Flood hydroclimatology. In “Flood Geomorphology.”(VR Baker, RC Kochel, and PC Patton, Eds.). *Flood Geomorphology* (pp. 27–49).
- Javelle, P., Ouarda, T. B., & Bobée, B. (2003). Spring flood analysis using the flood-duration–frequency approach: application to the provinces of Quebec and Ontario, Canada. *Hydrological Processes*, 17(18), 3717-3736.
- Jenks, G. F. (1967). The data model concept in statistical mapping. *International Yearbook of Cartography*, 7, 186-190.
- Köplin, N., Schädler, B., Viviroli, D., & Weingartner, R. (2014). Seasonality and magnitude of floods in Switzerland under future climate change. *Hydrological Processes*, 28(4), 2567-2578.
- Koutroulis, A. G., Tsanis, I. K., & Daliakopoulos, I. N. (2010). Seasonality of floods and their hydrometeorological characteristics on the island of Crete. *Journal of Hydrology*, 394(1-2), 90-100.
- Lecce, S. A. (2000). Seasonality of flooding in North Carolina. *Southeastern Geographer*, 40(2), 168-175.
- Collins, M. J. (2019). River flood seasonality in the Northeast United States: Characterization and trends. *Hydrological Processes*, 33(5), 687-698.
- Magilligan, F. J., & Graber, B. E. (1996). Hydroclimatological and geomorphic controls on the timing and spatial variability of floods in New England, USA. *Journal of Hydrology*, 178(1-4), 159-180.
- Mardia, K. V. (1975). Statistics of directional data. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 37(3), 349-371.
- Merz, R., Piock-Ellena, U., Blöschl, G. & Gutknecht, D. (1999). Seasonality of flood processes in Austria. In: *Hydrological Extremes: Understanding, Predicting, Mitigating* (ed. by L. Gottschalk, J.-C. Olivry, D. Reed & D. Rosbjerg), 273–278. IAHS Publ. 255. IAHS Press, Wallingford, UK.
- Næsje, T., Jonssons, B., & Skurdal, J. (1995). Spring flood: a primary cue for the hatching of river spawning Coregoninae. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 52(10), 2190-2196.
- Ouarda, T. B., Haché, M., Bruneau, P., & Bobée, B. (2000). Regional flood peak and volume estimation in the northern Canadian basin. *Journal of Cold Regions Engineering*, 14(4), 176-191.
- Ouarda, T. B., Ashkar, F., & El-Jabi, N. (1993). Peaks over the threshold model for seasonal flood variations. In *Engineering Hydrology* (pp. 341-346). ASCE.

- Richards, K. (1994). Peaks-over-threshold flood database: Summary statistics and seasonality by Adrian C. Bayliss and Richard C. Jones, Institute of Hydrology Report No. 121, Natural Environment Research Council, 1993. No. of pages: 61. Price:£ 15. ISBN 0948-540-47-8. Earth Surface Processes and Landforms, 19, 675-675.
- Robertson, A. I., Bacon, P., & Heagney, G. (2001). The responses of floodplain primary production to flood frequency and timing. *Journal of Applied Ecology*, 38(1), 126-136.
- Sivapalan, M., Blöschl, G., Merz, R., & Gutknecht, D. (2005). Linking flood frequency to long-term water balance: Incorporating effects of seasonality. *Water Resources Research*, 41(6).
- Villarini, G. (2016). On the seasonality of flooding across the continental United States. *Advances in Water Resources*, 87, 80-91.
- Ye, S., Li, H. Y., Leung, L. R., Guo, J., Ran, Q., Demissie, Y., & Sivapalan, M. (2017). Understanding flood seasonality and its temporal shifts within the contiguous United States. *Journal of Hydrometeorology*, 18(7), 1997-2009.

