

Process-Based Flood Type Separation in Partial Duration Series (Sample Study: The Gorganrood Sub-Basins)

A. Lalouzaei¹, A. Sadoddin^{2*}, A. Zare Garizi³, and V. Sheikh⁴

Abstract

Determining flood generation processes and incorporating them in hydrological studies can help make more reliable estimates. Focusing merely on mathematical computations in flood studies sometimes lead to paying less attention to the basic physical processes. Therefore, this research aims to present a process-based flood separation study for 20 hydrometric stations in the Gorganrood River Basin attributed as a flood prone area in the northern part of Iran. For this purpose, partial series of flood events at each station were extracted using the Peak-Over-Threshold (POT) approach selecting an optimal threshold value to determine flood events and considering the independence of the series values. Subsequent to characterizing flood events using some separation indicators including time of occurrence, rainfall duration, flood duration, air temperature, and antecedent soil moisture condition, different types of floods (i.e., floods caused by frontal precipitation, convective precipitation, snowmelt and rain on snow) were identified for each station. The results showed that floods caused by frontal precipitation and rain on snow have the highest and lowest frequencies in the basin, respectively. The research findings indicated that using POT approach and the indicators for classifying the different flood types can lead to a more accurate statistical analysis in flood studies and management.

Keywords: POT Approach, Partial Duration Series, Flood Generation Process, the Gorganrood River Basin.

Received: March 17, 2022

Accepted: September 24, 2022

تفکیک فرآیند-محور رخدادهای سیل در سری مقادیر جزئی (مطالعه نمونه: زیرحوضه‌های رودخانه گرگانرود)

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

چکیده

تعیین فرایندهای تولید سیل و لحاظ نمودن آن در تحلیل‌های هیدرولوژی به برآوردهای قابل اطمینان‌تر کمک می‌کند. تمرکز صرف بر محاسبات ریاضی برای بررسی پدیده سیل باعث می‌شود که فرآیندهای فیزیکی طبیعت کمتر مورد توجه قرار گیرند. لذا، در این تحقیق به تفکیک فرآیند-محور رخدادهای سیل در ۲۰ ایستگاه هیدرومتری در حوضه رودخانه گرگانرود به‌عنوان یکی از حوضه‌های با رخدادهای شدید و فراوان سیل در شمال کشور، پرداخته شده است. به‌منظور استخراج سری مقادیر جزئی (بالا تر از آستانه) با کمک رویکرد POT در هر ایستگاه، مراحل اساسی این رویکرد شامل انتخاب مقدار آستانه بهینه و برقراری شرط استقلال در رخدادهای سیل، انجام شد. پس از تعیین رخدادهای سیل، با استفاده از شاخص‌های زمان وقوع رخداد، زمان تداوم بارش، زمان تداوم سیل، دمای هوا و رطوبت پیشین خاک، انواع سیل شامل سیل‌های ناشی از بارش جبهه‌ای، بارش جابجایی، ذوب برف و باران روی برف در هر ایستگاه تعیین شد. نتایج نشان می‌دهد که، سیل‌های ناشی از بارش جبهه‌ای و باران روی برف به ترتیب بیشترین و کمترین فراوانی را در حوضه دارند. یافته‌های تحقیق حاکی از آن است که استفاده از رویکرد POT و شاخص‌های طبقه‌بندی انواع سیل می‌تواند به تحلیل‌های دقیق‌تر آماری در مطالعات و مدیریت سیل منجر شود.

کلمات کلیدی: رویکرد POT، سری مقادیر جزئی، فرایند تولید سیل، حوضه رودخانه گرگانرود.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۷/۲

1- Ph.D. Candidate, Watershed Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. Email: arm.lalozaee@gmail.com

2- Associate Professor, Watershed Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. Email: amir.sadoddin@gau.ac.ir

3- Assistant Professor, Department of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. Email: arash.zare86@gmail.com

4- Associate Professor, Watershed Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. Email: v.sheikh@yahoo.com

*- Corresponding Author

Dor: [20.1001.1.17352347.1401.18.3.2.4](https://doi.org/10.17352/347.1401.18.3.2.4)

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۲- دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۳- استادیار گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۴- دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان زمستان ۱۴۰۱ امکانپذیر است.



نتایج نشان داد براساس این شاخص‌ها، سیل ناشی از بارش طولانی با ۴۳٪ بیشترین فراوانی و سیل ناشی از ذوب برف با ۳٪ کمترین درصد سیل‌ها را به خود اختصاص داده‌اند.

(Parajka et al., 2010) با استفاده از شاخص‌های فصلی و الگوهای گردش جوی به تعیین فرآیندهای اصلی تولید سیل در طول دامنه کارپاتین آلباین پرداختند. این امر با تجزیه و تحلیل خوشه‌ای برای شناسایی نواحی که از نظر فرآیندهای تولید سیل و بارش مشابه هستند انجام شد. نتایج نشان داد، تغییرات مشخصی در فرآیندهای تولید سیل در طول این دامنه ایجاد می‌شود. (Nied et al., 2013) رطوبت خاک را به عنوان یک متغیر کلیدی از شرایط حوضه آبخیز پیش از وقوع رویدادها طبقه‌بندی کردند و الگوهای رطوبتی خاک در ارتباط با فرآیندهای مختلف تولید سیل را در حوضه رودخانه آلپ پیشنهاد دادند. نتایج نشان داد در زمستان، سیل‌ها با رطوبت بالای خاک اتفاق می‌افتند، در حالی که در تابستان الگوهای رطوبتی خاک تعیین کننده نوع سیل‌ها هستند که پایداری زمانی کم‌تری نیز دارند. (Szolgay et al., 2015) به تحلیل دو متغیره (دبی و حجم) سیل با تمرکز خاص بر نوع و فصل فرآیندهای تولید سیل به جای رویکردهای معمولی آنالیز فراوانی براساس حداکثر سیل سالانه پرداختند. نتایج نشان داد که با تحلیل عمیق هیدرولوژیکی در ساختار همبستگی بین متغیرها می‌توان عدم قطعیت را کاهش داد. (Sikorska et al., 2015) وقایع سیل را در حوضه‌های کوهستانی سوییس با استفاده از ویژگی‌های بارش، پوشش برف و پوشش یخچالی با استفاده از یک درخت تصمیم فازی طبقه‌بندی کردند. رخدادها به عنوان طیفی از شش نوع سیل احتمالی شامل، سیل فوری، بارندگی کوتاه، بارندگی طولانی، ذوب برف، باران روی برف و سیل‌های یخچالی در نظر گرفته شد. نتایج این تحقیق نشان داد که رویکرد فازی پتانسیل زیادی برای تجزیه و تحلیل الگوهای سیل در مقیاس حوضه را دارد و از این طریق نمای واقعی‌تری از فرآیندهای تولید سیل فراهم می‌گردد. (Turkington et al., 2016) وقایع سیل را با استفاده از تجزیه و تحلیل خوشه‌ای براساس دما و شاخص‌های بارش در انواع مختلف طبقه‌بندی کردند. این رویکرد در دو حوضه مختلف آلپ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که این رویکرد مورد استفاده قادر به تولید انواع سیل مشاهده شده در هر دو حوضه می‌باشد. (Szolgay et al., 2016) به بررسی ارتباط بین عوامل اقلیمی و فیزیکی با متغیرهای سیل از قبیل دبی و حجم پرداختند. این محققان رویدادهای سیل را به صورت مستقل به سه دسته سیل سینوپتیک، فوری و ذوب برف تقسیم کرده و سپس بهترین مدل کوپولا بر اساس نوع سیل منطقه انتخاب شد. نتایج آنها نشان داد که در نظر گرفتن فرآیندهای تولید سیل و روابط بین آنها در تحلیل‌های

از نظر مطالعات هیدرولوژیکی، تعیین فرآیندهای تولید سیل، برای طبقه‌بندی رودخانه‌ها (Rosgen, 1994)، رژیم‌های هیدرولوژیکی (Haines et al., 1988; Robinson and Sivapalan, 1997; Zhang et al., 2012)، هیدروگراف‌ها (Hannah et al., 2000)، وضعیت اکولوژیکی رودخانه (Biggs et al., 1990; Slender et al., 2005)، حوضه آبخیز (Wagener et al., 2007; Sawicz et al., 2015; Sivakumar et al., 2011) و سیلاب (Merz and Blöschl, 2003; Diezig and Weingartner, 2005) بسیار مفید است. بررسی فرآیندهای فیزیکی که باعث وقوع سیل می‌شوند یکی از موضوعات مهم هیدرولوژی آبخیز و از روش‌های مهم اصلاح برآوردها محسوب می‌شود. این فرآیندهای پیچیده به وسیله طیف وسیعی از شاخص‌ها از قبیل، زمان وقوع سیل، زمان تداوم رویداد، ارتفاع بارش در دوره بازگشت معین، ذوب برف و غیره قابل تفکیک هستند. روابط بین شاخص‌های سیل و انواع فرآیندهای مربوط به آنها نیز بسیار پیچیده هستند و به کمک قوانین کمی ساده قابل تشخیص نیستند. بنابراین استفاده از یک روش طبقه‌بندی دستی برای تفکیک فرآیندهای مختلف سیل و درک بیشتر فیزیک فرآیندها در آنالیزهای آماری بسیار مثر ثمر خواهد بود. استفاده از رویکردهای دستی اجازه می‌دهد تا اندرکنش بین شاخص‌های مختلف فرآیندهای سیل را که به سادگی در یک طرح طبقه‌بندی کمی گنجانده نمی‌شوند، به دست آورد (Merz and Blöschl, 2003). در روش‌های آماری، در بسیاری موارد، فرآیندها مد نظر قرار نگرفته و ممکن است بدون هیچ بینش فیزیکی، صرفاً ارتباط بین عوامل و وقوع سیل را بررسی کنند (Merz and Blöschl, 2003). (Alila and Mtraoui, 2002) با استفاده از توزیع‌های مختلف آماری، به چگونگی استفاده از مدل‌های فراوانی منطقه‌ای برای سیل‌های متشکل از مخلوطی از دو یا چند فرآیند پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد، انتخاب بهترین تابع توزیع فراوانی سیل باید براساس استدلال‌های هیدرولوژیکی باشد، نه فقط کاربرد صرف آزمون‌های آماری سنتی و دلیل اصلی اینکه توزیع‌های منتخب تناسب قابل قبولی با داده‌های سیل ندارند را عدم شناخت فرآیندهای فیزیکی در تحلیل فراوانی سیل بیان کردند. (Merz and Blöschl, 2003) چارچوبی برای شناسایی فرآیندهای مختلف تولید سیل در مقیاس حوضه در اتریش ارائه کردند که در آن انواع سیل شامل سیل ناشی از باران طولانی، ناشی از باران کوتاه (فوری)، ناشی از باران روی برف و ذوب برف مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق از شاخص‌های زمان وقوع سیل، زمان تداوم سیل، عمق بارش و ذوب برف، خصوصیات حوضه و دینامیک پاسخ رواناب استفاده گردیده است.

هیدرولوژیکی بسیار سودمند است. (Berghuijs et al. (2016) جریان‌های حداکثر سالانه در ۴۲۰ حوضه آبخیز در سراسر ایالات متحده را با تجزیه و تحلیل فصلی رویدادها و رطوبت قبلی خاک، برای تعیین انواع فرایندهای سیل بکار بردند. آن‌ها سیل فوری، سیل ناشی از ذوب برف و باران بر روی برف را برای طبقه‌بندی خود در نظر گرفتند. نتایج نشان داد، رطوبت خاک و فصل رویدادها کمک زیادی به تعیین نوع فرایند سیل می‌کنند. (Filipova et al. (2018) به بررسی تأثیر خصوصیات حوضه و فرایندهای تولید سیل در انتخاب بهترین نوع کوپولا در تحلیل فراوانی سیل به صورت دو متغیره در نروژ پرداختند. نتایج آنها نشان داد که فرایندها و خصوصیات حوضه بر همبستگی بین متغیرهای دبی و حجم سیل تأثیرگذار است و انتخاب نوع کوپولا با در نظر گرفتن این نوع همبستگی تأثیر خوبی در تحلیل فراوانی سیل دارد. با توجه به تغییرات مکانی و زمانی بارش و پتانسیل سیل‌خیزی حوضه رودخانه گرگانرود، اطلاع از خصوصیات و انواع سیل و همچنین محدوده گسترش آنها، می‌تواند برنامه‌ریزان و متخصصان کشور را در زمینه ارائه راهکارهای کنترل این پدیده مخرب یاری نماید. بررسی منابع علمی خارج و داخل کشور نشان می‌دهد که، تحقیقات بسیار زیادی در زمینه تحلیل فراوانی سیل با رویکردهای مختلف انجام شده است. اما اکثر تحقیقات به ارائه و ارزیابی روش‌های آماری و محاسباتی برای تحلیل فراوانی پرداخته‌اند تا آنجایی که تمرکز بر روش‌ها و محاسبات ریاضی منجر شده که فرایندهای فیزیکی طبیعت در بسیاری موارد نادیده انگاشته شوند. ادراک فرایندهای مولد سیل و لحاظ کردن آن در تحلیل فراوانی، رویکرد نوینی است که اخیراً توسط برخی محققین هیدرولوژی در سطح بین‌المللی پیشنهاد شده است ولی تحقیقات اندکی در این زمینه انجام شده است. تفکیک انواع مختلف سیل بر اساس منشاء آنها می‌تواند به بازنمایی فرایندهای سیل و در نتیجه، برآوردهای قابل اطمینان‌تر کمک کند. طبق بررسی‌های انجام شده، تفکیک انواع سیل بر اساس منشاء آنها تاکنون در کشور کمتر مورد توجه بوده است. در برخی از تحقیقات به تحلیل‌های فصلی سیل پرداخته شده است (Lalouza et al., 2020).

بنابراین هدف اصلی این تحقیق، تفکیک انواع سیل بر اساس منشاء آنها در حوضه رودخانه گرگانرود به‌عنوان یکی از حوضه‌های با رخدادهای شدید و فراوان سیل در شمال کشور می‌باشد. برای هدف فوق از سری مقادیر جزئی دبی جریان استفاده شده است.

پژوهش حاضر صرفاً پیاده کردن یک روش شناخته شده و رایج در مطالعات کشورهای دیگر نمی‌باشد. بلکه، در این پژوهش بر اساس شرایط و اطلاعات موجود و قابل تحلیل و نیز شاخص‌های پیشنهادی

در تحقیقات بین‌المللی، شاخص‌های شناسایی فرایندهای سیل کاملاً به شکل بومی پیشنهاد شده و سپس در حوضه‌های رودخانه گرگانرود به‌عنوان نمونه اجرا شده است. علاوه بر این، برتری پژوهش حاضر این است که، تفکیک فرایند-محور رخدادهای سیل به جای سری مقادیر حداکثر سالانه (تنها یک رخداد حدی در هر سال) برای سری‌های مقادیر جزئی (با امکان شمول چندین رخداد سیل در هر سال) انجام شده است. بدین ترتیب، وجود انواع مختلف سیل در سری بدست آمده امکان‌پذیر خواهد شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه رودخانه گرگانرود با مساحت ۱۱۲۲۵ کیلومتر مربع، دارای ۳۳ ایستگاه هیدرومتری است که با توجه به آمار و اطلاعات مورد نیاز در این تحقیق، پس از حذف ایستگاه‌های غیرقابل اطمینان ۲۰ ایستگاه هیدرومتری انتخاب و یک دوره آماری مشترک ۴۷ ساله در نظر گرفته شد. اقلیم حوضه براساس روش دومارتن در شرق، نیمه خشک و در غرب، مرطوب است. میانگین بارش سالانه حوضه نیز از ۱۸۴ میلی‌متر در شرق تا ۸۶۶ میلی‌متر در غرب حوضه متغیر است. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی حوضه رودخانه گرگانرود به همراه شبکه آبراهه و ایستگاه‌های هیدرومتری آن نشان داده شده است.

۲-۲- آمار و اطلاعات پایه مورد نیاز

در آغاز آمار سیل روزانه در ایستگاه‌های آب‌سنجی، از آب منطقه‌ای استان گلستان تهیه شد و ایستگاه‌های غیر قابل اطمینان حذف شدند و سپس یک دوره آماری مشترک در نظر گرفته شد. در این تحقیق، تعداد ایستگاه‌های منتخب ۲۰ مورد و دوره آماری مشترک از سال (۵۲-۱۳۵۱) تا (۹۷-۱۳۹۶) و معادل با ۴۷ سال تعیین شد. همچنین، با کمک رویکرد POT¹، سری مقادیر جزئی (بالا تر از آستانه) در هر ایستگاه تعیین شد. آزمون تصادفی بودن و همگنی سری‌های مقادیر جزئی استخراج شده به کمک روش Runs Test و آزمون روند (من کندال) در ۲۰ ایستگاه هیدرومتری در حوضه گرگانرود انجام شد.

۲-۳- رویکرد POT

سری‌های حداکثر سالانه سیل (AMF^2) که معمولاً در تحلیل‌های آماری هیدرولوژی استفاده می‌شوند، متشکل از بزرگترین دبی مشاهده شده در هر سال در طول دوره آماری هستند. بنابراین تنها شامل یک رویداد سیل در هر سال است و الزاماً نماینده تمامی انواع سیل‌های رخ داده از نظر منشاء نمی‌باشد.

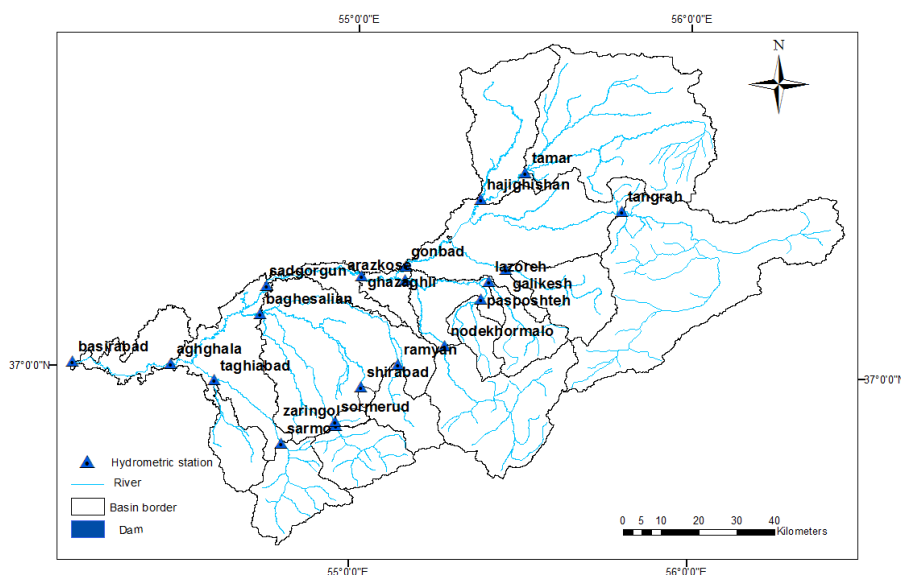


Fig. 1- Location of the Gorganrood River Basin displaying stream network and river gauge stations

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه رودخانه گرگانرود به همراه شبکه آبراهه‌ای و ایستگاه‌های هیدرومتری

برای مقدار آستانه یعنی ایجاد توازن بین واریانس و اریبی می‌باشد (Zahedianfar et al., 2016; Ribatet, 2011). تابع توزیع پواسن مطابق با رابطه ۱ می‌باشد. در این توزیع میانگین و واریانس با هم برابر می‌باشند. شاخص پراکندگی به صورت رابطه ۳ تعریف می‌شود که نزدیکی آن به عدد، ۱ پواسن بودن وقایع را تصدیق می‌کند.

$$\Pr[X = k] = e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!} \quad k \in \mathbb{N} \quad (1)$$

$$E[X] = \text{Var}[X] \quad (2)$$

$$I = \frac{s^2}{\lambda} \quad (3)$$

که در آن s انحراف معیار و λ میانگین تعداد وقایع بالاتر از آستانه است. (Ashkar and Rousselle 1983) با استفاده از این اصل که اگر رخداد های سیل از توزیع پواسن پیروی کنند، میانگین و انحراف معیار تعداد موارد عبور از آستانه در مقیاس سالانه برابر می‌شود، نموداری ترسیم کردند و نسبت میانگین به انحراف معیار (شاخص پراکندگی) را در مقابل آستانه نمایش دادند و آستانه‌ای را انتخاب کردند که نسبت میانگین به انحراف معیار آنها برابر یک باشد. آزمون معیار پارامترها مکمل آزمون پواسن است. براساس تغییرات مقدار آستانه، توابع چگالی احتمال پارتوی متعددی وجود دارد. بنابراین برآوردهای گوناگون حاصل می‌شود. بنابراین پایداری پارامترها برای انتخاب آستانه بهینه مورد نظر است. در آزمون باقیمانده‌ها اگر Y نشان‌دهنده عبور از آستانه u_0 باشد و دارای یک توزیع تعمیم یافته پارتو با مشخصه پارامتر

$$E(Y) = \frac{\sigma}{1-\xi} \quad \xi \geq 1 \quad (4)$$

از طرف دیگر، در چنین شرایطی و در غیاب یک دوره آماری مناسب و طولانی، از سری مقادیر جزئی (PD^3) استفاده می‌شود (Sarhadi et al., 2008).

مراحل اساسی این رویکرد شامل تعیین مقدار آستانه بهینه در هر ایستگاه و انتخاب جریان‌های سیلی که دارای شرط استقلال باشند، است (Kazemikia et al., 2016). به عنوان مثال در تحلیل سیل برای انتخاب آستانه معیارهایی مانند تبعیت داده‌های وقایع فراتر از آستانه و نمایشی بودن دبی‌های اوج سیلاب در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که آستانه کوچک انتخاب شود مشکل عدم استقلال در مقادیر بالاتر از آستانه به وجود می‌آید که برای رفع این مشکل شرایطی در نظر گرفته می‌شود تا استقلال فیزیکی و آماری بین داده‌ها برقرار شود. اما با توجه به این که میانگین و انحراف معیار تعداد موارد فراتر از آستانه سیل‌هایی که از توزیع پواسن تبعیت می‌کنند می‌بایست برابر باشند، با ترسیم نسبت میانگین به انحراف معیار در مقابل آستانه‌ها، آستانه‌ای انتخاب می‌شود که این نسبت در آن برابر یک باشد. البته در این روش ممکن است به توزیع موارد عبور از آستانه که رکن اساسی مدل‌سازی است توجهی نشود که از معایب این روش نیز به حساب می‌آید و باید به توزیع موارد عبور از آستانه توجه بیشتری شود. با در نظر گرفتن این شرایط بهترین آستانه انتخاب می‌شود. برای تعیین مقدار آستانه مناسب، ابزارهایی شامل آزمون توزیع پواسن^۴ (اندیس پراکندگی)، آزمون معیار پارامترها^۵ و آزمون باقیمانده‌ها^۶ وجود دارد. ابتدا باید توجه داشت تعیین مقدار آستانه یک رویکرد چند جانبه است و انتخاب بهینه

۲-۴-۱- تاریخ وقوع رویداد سیل

زمان وقوع سیل شاخص مهمی برای تعیین نوع فرایند سیل است و براساس فصل گرم یا سرد یا تاریخی که سیل در آن اتفاق افتاده است می‌توان سیل‌های مختلف را از هم تفکیک کرد (Merz et al., 1999). روش‌های مبتنی بر آمار جهت‌ی ۷ یک مبنای مفید برای تحلیل زمان وقوع سیل می‌باشد (Magilligan and Graber, 1996; Mardia, 1975). در این روش تاریخ وقوع سری مقادیر جزئی به عنوان بردار جهت، برای هر رویداد سیل محاسبه می‌شود. برای تعیین زاویه این بردار از رابطه ۶ استفاده می‌شود (Richards, 1994; Burn, 1996):

$$\theta_i = (J \text{ Date})_i \left(\frac{2\pi}{365} \right) \quad 0 \leq \theta_i \leq 2\pi \quad (6)$$

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.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(\theta_i) \quad (7)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sin(\theta_i) \quad (8)$$

که x ، y ، \bar{x} و \bar{y} به ترتیب طول، عرض، میانگین طول و میانگین 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:

$$\bar{\theta} = \tan^{-1} \left(\frac{\bar{y}}{\bar{x}} \right) \quad \text{for } \bar{x} \geq 0 \quad (9)$$

$$\bar{\theta} = \tan^{-1} \left(\frac{\bar{y}}{\bar{x}} \right) + \pi \quad \text{for } \bar{x} < 0 \quad (10)$$

مقادیر x ، y ، \bar{x} و \bar{y} در رابطه ۸ آمده‌اند.

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.

$$\text{MDF} = \bar{\theta} \frac{356}{2\pi} \quad (11)$$

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 (Burn, 1997). علاوه بر محاسبه میانگین زمان وقوع سیل، تغییرات زمانی n رخداد سیل حول میانگین نیز می‌تواند از رابطه زیر محاسبه شود (Burn, 1997):

$$\bar{r} = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \quad 0 \leq \bar{r} \leq 1 \quad (12)$$

این مقدار بین صفر تا ۱ تغییر می‌کند که مقدار صفر بیانگر عدم فصلی بودن (یعنی توزیع یکنواخت تاریخ وقوع سیل‌ها در تمام طول سال)

اگر GPD برای آستانه‌های بالاتر u_0 معتبر باشد، باید برای همه آستانه‌های بالای آستانه جدید u_0 دارای پارامترهای معتبر می‌باشد.

$$E(Y - u | Y > u) = \frac{\sigma u_0}{1 - \xi} \quad (5)$$

بنابراین $(Y - u | Y > u)$ فقط میانگین‌های بالای آستانه u است که انتظار می‌رود به صورت خطی با u تغییر کند. تمام عملیات ریاضی تئوری مقادیر حدی براساس استقلال وقایع حدی می‌باشد. بنابراین باید دبی‌های اوج حدی را به گونه‌ای انتخاب کرد که از استقلال آنها مطمئن بود. معیارهای انتخاب دبی‌های مستقل سیل و کاربرد آن در روش مقادیر جزئی توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در تحقیق حاضر، دو رخداد سیل متوالی، زمانی مستقل به حساب می‌آیند که فاصله زمانی بین دو واقعه حداقل ۸ روز باشد، در غیر این صورت، امکان تداخل دو واقعه قابل تصور است (Ribatet, 2011). به‌منظور کنترل بیشتر این پیش‌فرض، برای تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه، استقلال داده‌ها با ترسیم نمودارهای ACF و PACF مورد بررسی اولیه قرار گرفت. یافته‌ها حاکی از این است که، فاصله هشت روز بین دو واقعه، پیش‌فرض مناسبی می‌باشد. شایان ذکر است که، در تحقیق حاضر تمام این مراحل با استفاده از پکیج POT در نرم‌افزار R انجام شد.

۲-۴-۲- شاخص‌ها و فرایندهای تولید سیل

در این تحقیق با توجه به آمار موجود در حوضه از شاخص‌های تاریخ وقوع رویداد سیل، زمان تداوم بارش، زمان تداوم سیل، دمای هوا و رطوبت پیشین خاک در همه سیل‌های بالاتر از آستانه در هر ۲۰ ایستگاه برای تعیین نوع فرایند سیل استفاده شد. محققان مختلف طبقه‌بندی‌های مختلفی برای انواع فرایندهای سیل در نظر گرفته‌اند و در عمده تحقیقات چهار دسته اصلی فرایند سیل مدنظر قرار گرفته است (Hundecha et al., 2017; Merz and Bloschl, 2003; Sikorska et al., 2015). در این تحقیق نیز چهار دسته فرایند تولید شامل سیل ناشی از بارش جبهه‌ای، بارش جابه‌جایی، باران روی برف و ذوب برف مدنظر قرار گرفت. سیل‌های جبهه‌ای وقتی بارش باران به مدت یک تا چند روز با شدت کم رخ دهد به تدریج حوضه را اشباع می‌کنند و در نهایت منجر به سیل می‌شوند. در نوع سیل جابه‌جایی یا ناشی از بارش همرفتی، بارش شدید و کوتاه مدت است و معمولاً کمتر از نیم روز طول می‌کشد. سیل ناشی از ذوب برف، زمانی رخ می‌دهد که در حوضه برف تجمع یافته وجود داشته و دما هوا بالاتر از نقطه انجماد رود. در سیل ناشی از ریزش باران روی برف، فرایند ذوب برف ممکن است در طول بارش به دلیل گرمای نهان تبخیری که باران برای برف فراهم می‌کند، اتفاق بیفتد.

است در حالی که مقدار ۱ نشان‌دهنده فصلی بودن شدید (یعنی تمرکز تمام سیل‌ها در یک روز مشخص در سال) می‌باشد.

۲-۴-۲- زمان تداوم بارش

برای تعیین زمان تداوم بارش در انواع فرایندهای سیل چهار حالت بارش به صورت، بارش ۱ روزه، بیشتر از ۱ روز، کمتر از ۱ روز و عدم وجود بارش در نظر گرفته شد. در بارش ۱ روزه، مقدار بارش در روزهای قبل و بعد تاریخ مورد نظر صفر و یا نزدیک به صفر است. در بارش بیشتر از یک روز، ارتفاع و تداوم بارش در روزهای قبل و بعد تاریخ مورد نظر اختلاف چندانی با هم ندارند. در بارش کمتر از یک روز که با کمک داده‌های روزانه قابل تشخیص نیست بایستی از داده‌های بارش ساعتی استفاده کرد و در حالتی که در روز وقوع سیل، بارشی اتفاق نیفتاده باشد، عدم وجود بارش تعیین می‌شود.

۲-۴-۳- زمان تداوم رویداد سیل

زمان تداوم سیل نیز در انواع فرایندهای سیل به سه حالت یک روز، بیشتر از یک روز و کمتر از یک روز در نظر گرفته شد. به این صورت که با در نظر گرفتن سیل مورد نظر و مقایسه مقدار آن با روزهای بعد از آن، اگر اختلاف ناچیزی بین مقدار آنها بود (۲۰٪ سیل مورد نظر محاسبه و از مقدار آن کسر می‌گردد و با سیل روز بعد مقایسه می‌شود) سیل با تداوم بیشتر از یک روز لحاظ می‌گردد و چنانچه مقدار آن در روزهای بعد کاهش قابل توجهی نسبت به سیل مورد نظر داشت، سیل با تداوم یک روز مدنظر قرار می‌گیرد. در سیل‌های ناشی از بارش جابجایی چنانچه آمار ساعتی سیل در دسترس باشد، می‌توان تداوم کمتر از یک روز را تشخیص داد در غیر اینصورت به تداوم یک روز بسنده می‌کنیم (Merz and Bloschl, 2003).

۲-۴-۴- دمای هوا

دمای هوا می‌تواند اثرات ارتفاعی را منعکس کند. به‌منظور تعیین دمای هوا برای تفکیک انواع سیل، اقدام به تعیین گرادیان دمایی برای هر زیر حوضه گردید. بر این اساس، با در نظر گرفتن ارتفاع متوسط هر زیرحوضه و ارتفاع نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (که معمولاً در

نزدیکی خروجی آن قرار دارد)، دمای متوسط زیرحوضه با کمک گرادیان حرارتی برآورد شد. برای تفکیک فرآیندهای سیل، دمای هوا در سه حالت مدنظر قرار گرفت. در دمای بالای ۲ درجه سانتیگراد، نوع بارش به‌صورت باران خواهد بود که می‌تواند سیل‌های جبهه‌ای و باران روی برف (در صورت وجود برف در تاریخ وقوع مورد نظر) را ایجاد کند. در سیل‌های جابه‌جایی و ذوب برف به ترتیب دمای هوا بالاتر از ۱۰ و ۵ درجه مدنظر قرار گرفت.

۲-۴-۵- وضعیت رطوبت پیشین خاک

شاخص رطوبت خاک بستگی به شدت و تداوم بارش قبلی، ویژگی‌های خاک و شدت تبخیر و تعرق دارد. با توجه به پیچیده بودن در نظر گرفتن تمام این پارامترها با هم در این تحقیق، رطوبت پیشین خاک از جمع تجمعی بارش ۵ روز قبل برای روز وقوع رخداد استفاده شد (Mahdavi, 2008). علاوه بر این، فعالیت تعرق گیاه فعال یا غیرفعال است که می‌تواند رطوبت خاک را تا حدودی کاهش دهد. بنابراین فصل رشد یا خواب گیاه نیز باید در محاسبات لحاظ شود. شرایط قبلی رطوبت خاک را می‌توان از جدول ۱ بر اساس کل بارندگی ۵ روز قبل از روز مورد نظر بدست آورد. از آنجا که، در مناطق بالادست بسیاری از حوضه‌های آبخیز، ایستگاه باران‌سنجی وجود ندارد، امکان برآورد دقیق بارش در مناطق بالادست فراهم نیست ولی با توجه به اینکه زیرحوضه‌های مورد مطالعه وسعت زیادی ندارند، خطای برآورد بارش قابل چشم‌پوشی و در عین حال، اجتناب‌ناپذیر است و هدف تخمین رطوبت پیشین خاک را تأمین می‌کند.

۲-۵-۲- چارچوب تفکیک فرآیندهای سیل

مجموع شروط تعیین شده برای ۵ شاخص در هر نوع فرآیند سیل در جدول ۲ ارائه شده است. به علت زمان‌بر بودن انجام این محاسبات و زیاد بودن تعداد ایستگاه‌ها و سال‌های آماری از زبان برنامه‌نویسی Visual Basic برای اعمال شروط وقوع انواع فرایندهای سیل استفاده گردید. بر این اساس در هر ایستگاه برنامه اجرا شد و نوع فرآیند سیل در سری مقادیر جزیی براساس شاخص‌های مدنظر تعیین شد.

Table 1- Classification of soil moisture conditions in the basin (Mahdavi, 2008)

جدول ۱- طبقه‌بندی شرایط رطوبت خاک در حوضه

Soil moisture condition class	5-day antecedent rainfall (mm)	
	Dormant season (mm)	Growing season (mm)
I	<13 mm	< 36 mm
II	13-28 mm	53-36 mm
III	>28 mm	>53 mm

Table 2- Indicators for identifying different types of flood processes in Gorganrood basin

جدول ۲- شاخص‌های شناسایی انواع فرایند سیل در حوضه گرگانرود

Type of flood process	Flood caused by frontal precipitation	Flood caused by convective precipitation	Flood caused by snowmelt	Flood due to rain on snow
Event timing (months)	Mehr – Aban- Azar Dey – Bahman - Esfand Farvardin	Tir – Mordad- Shahrivar Ordibehesht - Khordad	Farvardin Ordibehesht	Esfnd Farvardin
Rainfall duration Flood duration	More than one day (One day or more)	One day or less One day or less	No rain One day or more	No effect One day or more
Temperature (°C)	>2	>10	> 5	>2
Antecedent soil moisture condition	Medium	Dry	Wet	Wet

مطالعاتی انتخاب شد. این آستانه، شاخص پراکندگی نزدیک به یک را دارا می‌باشد. دبی‌های اوج بالاتر از این آستانه از توزیع پارتو تبعیت می‌کنند و در محدوده این آستانه تغییرات میانگین موارد عبور از آستانه، تقریباً ثابت است. مقدار آستانه مناسب در ۲۰ ایستگاه مورد مطالعه، با توجه به این نمودارها در جدول ۳ ارائه شده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج رویکرد POT به منظور تعیین سری مقادیر جزئی

برای تعیین بهترین آستانه جهت تعیین سری مقادیر جزئی از سه نمودار ۲، ۳ و ۴ در ایستگاه‌های سطح حوضه استفاده شد. پس از بررسی هم‌زمان این نمودارها، آستانه مناسب برای سری داده‌های هر ایستگاه

Dispersion Index Plot

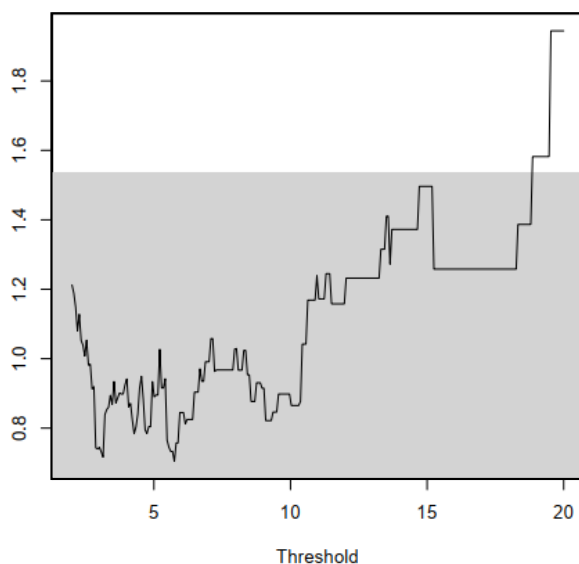


Fig. 3- Dispersion Index Plot

شکل ۳- نمودار تغییرات شاخص پراکندگی به ازای آستانه‌های مختلف

Mean Residual Life Plot

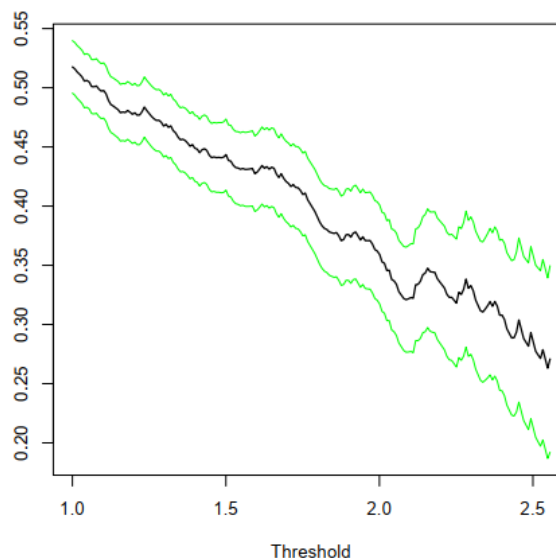


Fig. 2- Variations of mean exceedance above threshold versus the threshold

شکل ۲- نمودار تغییرات میانگین موارد عبور از آستانه در برابر مقدار آستانه

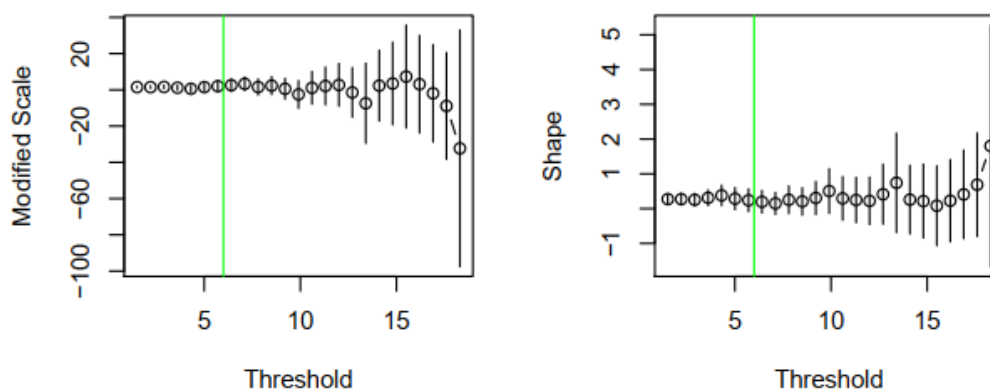


Fig. 4- Shape and modified scale parameters
 شکل ۴- تغییرات پارامترهای شکل و مقیاس اصلاح شده

Table 3- Optimal threshold values selected for 20 river gauge stations in the Gorganrud basin
 جدول ۳- مقادیر آستانه بهینه انتخاب شده در ۲۰ ایستگاه هیدرومتری در حوضه گرگانرود

River gauge station	Optimal threshold (m ³ /s)	River gauge station	Optimal threshold (m ³ /s)
Tangrah	13	Zaringol	13
Tamar	12	Taghiabad	4
Nodehkhormalo	12	Basirabad	95
Ramian	13	Baghesalian	26
Arazkoseh	45	Hagighoshan	12
Aghghala	125	Sarmo	8
Lazoreh	12	Gonbad	52
Galikesh	14	Sadgorgan	72
Shirabad	6	Pasposhteh	15
Ghazaghli	81	Sormrroud	6

۳-۲- نتایج بررسی شاخص‌های تفکیک انواع سیل

۳-۲-۱- تاریخ وقوع رویداد

مقدار MDF در جدول ۴ نیز نشان‌دهنده میانگین روز وقوع رویدادهای سیل در سال است که می‌تواند نشانگر تشابه هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز باشد. برای مثال، در منطقه مورد مطالعه حوضه‌های آبخیز بالادست ایستگاه‌های هیدرومتری آرازکوسه، رامیان، سرمو و نوده خرمالو با مقدار MDF حدود ۴۳ دارای شرایط هیدرولوژیکی و فیزیوگرافی نزدیک به هم هستند. هنگام بررسی و تفسیر MDF باید به شاخص r که پراکنش زمان وقوع سیل را نشان می‌دهد نیز توجه نمود؛ زیرا MDF به تنهایی فقط میانگین روزهای وقوع سیل را نشان می‌دهد در حالی که این روزها (که میانگین آنها محاسبه شده) ممکن است به هم نزدیک یا خیلی پراکنده بوده باشند. مثلاً در جدول ۵ می‌توان مشاهده کرد که ایستگاه‌های تقی‌آباد و تمر که میانگین زمان وقوع سیل در آنها بالاتر از ۱۰۰ بدست آمده (یعنی اختلاف حدود دو ماهه با میانگین بقیه ایستگاه‌ها)، کمترین مقدار r را نیز داشته‌اند یعنی روزهای وقوع سیل در آنها بسیار پراکنده و تقریباً در سرتاسر سال گسترده بوده است.

در این تحقیق به منظور بررسی شاخص تاریخ وقوع رویداد در ۲۰ ایستگاه آب‌سنجی در حوضه رودخانه گرگانرود، پارامترهای \bar{MDF} در هر کدام از ایستگاه‌ها و برای سری مقادیر جزئی محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقادیر پارامترهای محاسبه شده برای بررسی فصلی بودن سیل برای ایستگاه‌های موجود در حوضه رودخانه گرگانرود در جدول ۴ ارائه شده است. کمترین مقادیر r مربوط به ایستگاه‌های تمر، گالیکش و تیل‌آباد می‌باشد و نشان می‌دهد که داده‌های سری جزئی 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 باغ‌سالیان، قزاقلی و آق‌قلا به ترتیب با مقادیرهای ۰/۸۲، ۰/۷۴ و ۰/۵۸ بیشترین میزان r را دارا بودند که نشان از تراکم بالای تاریخ وقوع سیل‌های بالاتر از آستانه در فصلی خاص است و میزان فصلی بودن سیل در این ایستگاه‌ها قوی می‌باشد. چنین به نظر می‌رسد که در سرشاخه‌ها (بالادست) درجه فصلی بودن پایین و در آبراهه اصلی (پایین دست) درجه فصلی بودن بالاست.

Table 4- Flood seasonality parameters for the river gauge stations in the Gorganrood River Basin
جدول ۴- پارامترهای فصلی بودن سیل برای ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه رودخانه گرگانرود

River gauge station	r	MDF (average time of occurrence of flood events)	θ_i (Radian)
Arazkoseh	0.45	43.78	0.75
Aghghala	0.58	14.18	0.24
Baghesalian	0.82	19.67	0.33
Basirabad	0.56	2.74	0.06
Taghabad	0.30	102.7	1.76
Tamar	0.29	124.2	2.14
Tangrah	0.57	36.88	0.63
Hajjighoshan	0.39	122.84	2.11
Ramian	0.46	42.86	0.73
Zaringol	0.53	48.70	0.83
Gorgan- Dam	0.38	23.51	0.40
Sarmo	0.49	42.03	0.72
Shirabad	0.33	50.69	0.87
Ghazaghli	0.74	30.85	0.53
Pasposhteh	0.54	14.85	0.25
Galikesh	0.28	52.14	0.89
Gonbad	0.57	44.81	0.77
Lazoreh	0.38	46.31	0.79
Nodeh-khormalo	0.45	43.78	0.75
Sormeroud	0.27	43.91	0.75

۳-۲-۳- زمان تداوم سیل

بیشترین فراوانی از نظر زمان تداوم سیل مربوط به تداوم یک روز و بیشتر از یک روز است که حدود ۶۶٪ نوع زمان تداوم را به خود اختصاص داده است. نتایج بررسی تعیین زمان تداوم سیل در جدول ۶ ارائه شد.

۳-۲-۲- زمان تداوم بارش

با توجه به نتایج بدست آمده از تعیین زمان تداوم بارش برای فرایندهای مختلف سیل، بیشترین فراوانی بارش‌ها مربوط به بارش‌های بیشتر از یک روز است که باعث وقوع سیل‌های جبهه‌ای می‌گردد. کمترین فراوانی زمان تداوم بارش، بوجود آورنده سیل‌های باران روی برف است. نتایج بررسی این شاخص در جدول ۵ ارائه شده است.

Table 5- Rainfall duration in different types of floods in Gorganrood river basin
جدول ۵- فراوانی زمان تداوم بارش در انواع مختلف سیل در حوضه رودخانه گرگانرود

Type of flood process	Flood caused by frontal precipitation	Flood caused by convective precipitation	Flood caused by snowmelt	Flood from rain on snow
Rainfall duration	More than a day	A day or less	No rain	Rian with any duration
Number	1435	943	293	80
Percent	52%	34%	11%	3%

Table 6- Flood duration in different types of floods in Gorganrood river basin
جدول ۶- فراوانی زمان تداوم سیل در انواع مختلف سیل در حوضه رودخانه گرگانرود

	Flood caused by frontal rain, snowmelt, rain on snow	Flood caused by convective rainfall
Flood duration	One day or more	A day or less
Number	1808	943
Percent	66%	34%

۳-۲-۴- دمای هوا

نتایج طبقه‌بندی دمایی نشان داد که دمای بالای ۲ درجه سانتیگراد بیشترین فراوانی را در زمان وقوع رخداد‌های سیل در تمام زیرحوضه‌ها داشته است و اکثر فرایندهای تولید سیل در شرایطی رخ داده‌اند که دمای هوا بالای ۲ درجه سانتیگراد بوده است.

۳-۳- فرایندهای تولید سیل در سری مقادیر جزئی سیل

جدول نهایی تعداد فرایندهای سیل در هر ایستگاه براساس چارچوب تهیه شده در جدول ۸ ارائه شد. نتایج نشان می‌دهد تعداد سیل‌های تشخیص داده شده در هر کدام از ایستگاه‌ها در نوع جبهه‌ای از همه بیشتر است. به این صورت که، به ترتیب سیل جبهه‌ای، جابه‌جایی، ذوب برف و باران روی برف بیشترین فراوانی وقوع را در حوضه رودخانه گرگانرود دارا هستند.

۳-۲-۵- رطوبت پیشین خاک

در منطقه مورد مطالعه با توجه به روشی که برای تعیین رطوبت پیشین به کار رفته است، وضعیت رطوبتی خاک با توجه به نوع فرایند سیل، اکثراً در حالت متوسط قرار دارد و بیشترین سیل‌ها در شرایطی اتفاق افتاده‌اند که وضعیت رطوبت پیشین خاک در حالت متوسط بوده است. در جدول ۷ وضعیت رطوبت پیشین خاک در دو فصل خواب و رشد در انواع فرایند سیل نشان داده شده است.

بیشترین سیل جبهه‌ای رخ داده مربوط به ایستگاه‌های گالیکش، آق قلا و قزاقلی می‌باشد. سیل‌های جابه‌جایی به نسبت از سیل‌های جبهه‌ای کمتر هستند و قسمت اعظم حوضه در سیطره سیل‌های جبهه‌ای است. ایستگاه‌های تمر، آق قلا و حاجی قوشان نیز بیشترین فراوانی را در نوع سیل جابه‌جایی دارند.

Table 7- Antecedent soil moisture condition during dormant and growing seasons in the Gorganrood basin

جدول ۷- وضعیت رطوبت پیشین خاک در فصل خواب و رشد در آبخیز گرگانرود

Flood caused by frontal precipitation	Flood caused by convective precipitation	Flood caused by snowmelt	Flood from rain on snow
Wet	Wet	Dry	Medium

Table 8- Frequency of flood types for river gauge stations in the Gorganrood basin

جدول ۸- نتایج فراوانی انواع سیل در ایستگاه‌های حوضه گرگانرود

River gauge station	Flood caused by frontal precipitation	Flood caused by convective precipitation	Flood caused by snowmelt	Flood from rain on snow
Arazkoseh	90	37	23	5
Aghghala	105	82	7	3
Baghesalian	84	53	19	4
Basirabad	94	51	2	0
Taghabad	66	61	2	0
Tamar	26	68	17	14
Tangrah	45	31	32	15
Hajighoshan	56	88	12	2
Ramian	86	33	22	5
Zaringol	83	24	34	4
Gorgan- Dam	93	59	19	3
Sarmo	0	12	0	0
Shirabad	27	0	0	0
Ghazaghli	125	65	12	3
Pasposhteh	80	53	16	4
Galikesh	109	36	20	7
Gonbad	75	73	16	2
Lazoreh	79	43	22	4
Nodeh-khormalo	77	31	5	3
Sormeroud	35	43	13	2
Total	1435	943	293	80
Total (%)	52.16	34.27	10.65	2.90

در برخی از ایستگاه‌ها سیل از نوع ذوب برف تشخیص داده نشد و در بقیه ایستگاه‌ها نیز این نوع سیل فراوانی کمتری نسبت به دو نوع سیل جبهه‌ای و جابه‌جایی دارد. بیشترین فراوانی سیل از نوع ذوب برف مربوط به ایستگاه‌های تنگراه و زرینگل می‌باشد. سیل باران روی برف نیز در برخی از ایستگاه‌ها تشخیص داده نشد و نسبت به سه نوع فرایند دیگر، کمترین فراوانی را دارد.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بطور کلی جداسازی فرایندهای تولید سیل در زمان (تابستان در مقابل زمستان، بارندگی در مقابل برف و غیره) و همچنین در مکان (قسمت‌های مختلف چشم‌انداز، اقلیم‌های مختلف، خاک، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و غیره) بسیار سخت است. اما با توجه به اینکه عوامل اقلیمی و ویژگی‌های فیزیکی حوضه آبخیز، نقش بسزایی در تعیین فرآیند تولید سیل دارند در این تحقیق به کمک طیفی از شاخص‌های اقلیمی شامل زمان وقوع سیل، زمان تداوم رویداد، زمان تداوم بارش، دمای هوا و رطوبت پیشین خاک به تعیین و تفکیک انواع فرایندهای تولید سیل در سری‌های سیل جزئی (بالا تر از آستانه) در حوضه رودخانه گرگانرود پرداخته شد. برای هر کدام از شاخص‌ها در هر نوع فرایند با توجه به اصول هیدرولوژیکی و بررسی آمار و اطلاعات هواشناسی شرایطی در نظر گرفته شد و در نهایت چارچوبی برای تفکیک فرایند محور رخدادهای سیل تهیه شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که سیل ناشی از بارش جبهه‌ای در همه ایستگاه‌های آب‌سنجی بیشترین تعداد را دارد و سیل ناشی از بارش باران روی برف در تعداد زیادی از ایستگاه تشخیص داده نشد و در تعداد کمی از ایستگاه‌ها، رخدادهای سیل اندکی از این نوع سیل وجود دارد. شاخص‌ها و فرایندهای تولید سیل در این تحقیق مشابه با شاخص‌ها و فرایندهای تولید سیل در تحقیقات (Merz and Blöschl (2003, Sikorska et al. (2015 و Berghuijs et al. (2016 است. دلایل متعددی وجود دارد که نشان می‌دهد، چارچوب تهیه شده منجر به طبقه‌بندی واقعی پیک‌های سیل به انواع فرآیند سیل شده است. اول اینکه شاخص‌های در نظر گرفته شده، می‌تواند به خوبی مشخصات انواع سیل را نشان دهند و به اندازه کفایت در دسترس هستند. دوم، بسیاری از ویژگی‌های به دست آمده به کمک چارچوب طبقه‌بندی را می‌توان به خوبی بر اساس اصول هیدرولوژیکی تفسیر کرد. چارچوب تهیه شده می‌تواند به عنوان مجموعه‌ی جامع و مفیدی از شاخص‌ها، در شناسایی فرایندهای تولید سیل در حوضه‌های آبخیز در سطح کشور به منظور افزایش دقت در پیش‌بینی‌ها و کمک به مدیران در جهت اخذ تصمیمات اجرایی قابل اجرا باشد. بنابراین به منظور مدیریت بهتر

حوضه‌های آبخیز و کاهش هزینه‌ها در اجرای عملیات سازه‌ای در ارتباط با پدیده سیل، فرایندهای تولید سیل در حوضه‌های مختلف بیشتر از قبل مورد توجه قرار گرفته و در دستور کار مدیران و برنامه‌ریزان باشد و نتایج آن مورد پایش و ارزشیابی قرار گیرد. در برخی حوضه‌ها که در شرایط اقلیمی خشک قرار دارند، ممکن است بتوان با در نظر گرفتن شاخص‌های تکمیلی، به افزایش کارایی چارچوب پیشنهادی کمک کرد و یا این‌که تغییراتی در محدوده طبقات شاخص‌ها اعمال نمود. یکی از داده‌های اصلی مورد استفاده در این تحقیق مقدار سیل اندازه‌گیری شده براساس دبی- اشل یا براساس تراز آب است، که ممکن است به درستی اندازه‌گیری نشده و باعث عدم قطعیت در نتایج حاصل گردد. برای تعیین وضعیت رطوبت پیشین خاک در فرایندهای مختلف تولید سیل، با توجه به عدم دسترسی بودن اطلاعات دقیق برای برآورد این پارامتر، ساده‌ترین راه محاسبه که جمع تجمعی بارش ۵ روز قبل است در نظر گرفته شد که ممکن است با شرایط واقعی وضعیت رطوبت پیشین خاک فاصله داشته باشد و باعث عدم دقت لازم در چارچوب تهیه شده شود. گستردگی وسعت منطقه مورد مطالعه و تنوع شرایط آن مانند شرایط توپوگرافی و خاکی متفاوت نیز از دیگر مشکلات پیش‌روی تحقیق می‌باشد. در چارچوب تهیه شده برای تفکیک انواع سیل، در برخی از شاخص‌ها نظرات کارشناسی دخیل است که می‌تواند عدم قطعیت را در تفکیک فرایندها افزایش دهد. به‌عنوان مثال، در تعریف شرایط برای دما در هر نوع سیل با توجه به اینکه دمای خاصی در منابع برای هر نوع سیل اعلام نشده است دسته‌بندی آن براساس نظرات کارشناسی بوده است. بنابراین پیشنهاد می‌شود، جهت افزایش دقت در چارچوب تعیین شده در تحقیقات دیگر از آمار و اطلاعات هیدرولوژیکی و اقلیمی با مقیاس زمانی کوچکتر (مثلاً دبی ساعتی) نیز استفاده شود.

با توجه به نتایج این تحقیق پیشنهاد می‌شود که در تحلیل‌های فراوانی سیل صرفاً به سری مقادیر حدی بسنده نشود و سری مقادیر جزئی و رویکرد POT برای در اختیار داشتن تعداد متناسب و متنوع سیل نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. علاوه بر آن، تفکیک فرآیند-محور رخدادهای سیل به افزایش دقت تحلیل‌های آماری منجر خواهد شد که نتیجه مستقیم آن، افزایش توفیق در برنامه‌ریزی و مدیریت سیل خواهد بود. با توجه به نتایج بدست آمده پیشنهاد می‌گردد، ضمن معرفی روش استفاده شده در این تحقیق، تفکر تفکیک انواع سیل بر اساس منشاء در بین دانشجویان و کارشناسان مورد تأکید قرار گیرد.

بی نوشتها

- 1- Peak Over Threshold
- 2- Annual Maximum Flow
- 3- Partial Duration
- 4- Dispersion Index Plot
- 5- Tcplot
- 6- Mean Residual Life Plot
- 7- Directional Statistic

۵- مراجع

- Alila Y and Mtiraoui A (2002) Implications of heterogeneous flood-frequency distributions on traditional stream-discharge prediction techniques. *Hydrological Processes* 16(5):1065-1084
- Ashkar F and Rousselle J (1983) The effect of certain restrictions imposed on interarrival times of flood events on the Poisson distribution used for modeling flood counts. *Water Resources Research* 19(2):481-485
- 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
- Biggs B J F, Duncan M, Jowett I J, Quinn J G, Hickey C M, Davies-Colley R W, Close M E J (1990) Ecological characterization, classification, and modelling of New Zealand rivers: An introduction and synthesis. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 24(3):277-304
- 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* 1:264-273
- Burn D H (1997) Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures. *Journal of Hydrology* 202(1-4):212-230
- Diezig R and Weingartner R (2007) Hochwasserprozessstypen in der Schweiz, *Wasser und Abfall*. Springer Vieweg, Wiesbaden, vol. 4, Jahrgang, Heft 1-2:18-26
- Filipova V, Lawrence D, Klempe H (2018) Effect of catchment properties and flood generation regime on copula selection for bivariate flood frequency analysis. *Acta Geophysica* 66(4):791-806
- Haines A, Finlayson B T, McMahon T A L (1988) A global classification of river regimes. *Applied Geography* 8(4):255-272
- Hannah D, Smith B M, Gurnell A P, McGregor G R M (2000) An approach to hydrograph classification. *Hydrological Processes* 14(2):317-338
- Hundecha Y, Parajka J, and Viglione A (2017) Flood type classification and assessment of their past changes across Europe. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 21:1-29
- Kazemikia S, Besharati T, Zolfaghari M, and Ghanbarpour M R (2016) Comparative study of maximum and partial duration series in flood frequency analysis (Case study in Talar and Babolrud watersheds in Mazandaran Province). *Iran-Watershed Management Science & Engineering* 10(34):113-117 (In Persian)
- Kumar R, Chatterjee C, Kumar S, Lohani A, Singh R D K (2003) Development of regional flood frequency relationships using L-moments for Middle Ganga Plains Subzone 1 (f) of India. *Water Resources Management* 17(4):243-257
- Lalouzai A, Sadoddin A, Zare Garizi A, Sheikh V (2020) Analysis of seasonal behavior of flood events and their temporal changes for the Hyrcanian watersheds (Pilot study: watersheds of the Gorganrud River Basin, Iran). *Journal of Natural Environmental Hazards* 9(25):143-158
- Mahdavi M (2008) *Applied hydrology*. Institute of Printing and Publishing. University of Tehran. 362p.
- Magilligan F J and 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
- McCabe G, Hay L J, Clark M P E (2007) Rain-on-snow events in the western United States. *Bulletin of the American Meteorological Society* 88(3):319-328
- Merz R and Blöschl G (2003) A process typology of regional floods. *Water Resources Research* 39(12)
- Merz R, Piock-Ellena U, Blöschl G, Gutknecht D (1999) Seasonality of flood processes in Austria. *IAHS Publication (International Association of Hydrological Sciences)* 255:273-278
- Nied M, Hundecha Y, and Merz B (2013) Flood-initiating catchment conditions: A spatio-temporal analysis of large-scale soil moisture patterns in the Elbe River basin. *Hydrology and Earth System Sciences* 17(4):1401-1414
- Parajka J, Kohnová S, Bálint G, Barbuc M, Borga M, Claps P, Cheval S, Dumitrescu A, Gaume E,

- Halvcová K, Merz R, Pfaundler M, Stancalie G, Szolgay J, and Blöschl G (2010) Seasonal characteristics of flood regimes across the Alpine–Carpathian range. *Journal of Hydrology* 394(1-2):78-89
- Ribatet M (2011) A user's guide to the POT package (version 1.4). University of Montpellier II, 31, <https://cran.r-project.org/package=POT>.
- Robinson J, Sivapalan M S (1997) Temporal scales and hydrological regimes: Implications for flood frequency scaling. *Water Resources Research* 33(12):2981-2999
- 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
- Sarhadi A, Soltani S, Modarres R (2008) Probabilistic flood inundation mapping of ungauged rivers: Linking GIS techniques and frequency analysis. *Journal of Hydrology* 458:68-86
- Sawicz K, Wagener T, Sivapalan M, Troch P A, Carrillo G (2011) Catchment classification: Empirical analysis of hydrologic similarity based on catchment function in the eastern USA. *Hydrology and Earth System Sciences* 15(9):2895-2911
- Sikorska A, Viviroli D E, Seibert J (2015) Flood-type classification in mountainous catchments using crisp and fuzzy decision trees. *Water Resources Research* 51(10):7959-7976
- Sivakumar B, Singh V, Berndtsson R P, Khan S K (2015) Catchment classification framework in hydrology: Challenges and directions. *Journal of Hydrologic Engineering* 20(1):A4014002
- Snelder T, Biggs B H, Woods R A J (2005) Improved ecohydrological classification of rivers. *River Research and Applications* 21(6):609-628
- Szolgay J, Gaál L, Bacigál T, Kohnová S, Hlavčová K, Vyleta R, Blöschl G (2016) A regional look at the selection of a process-oriented model for flood peak/volume relationships. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences* 373:61-67
- Szolgay J, Gaál L, Kohnová S, Hlavcová K, Vyleta R, Bacigál T, Blöschl G (2015) A process-based analysis of the suitability of copula types for peak-volume flood relationships. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences* 370:183-188
- Turkington T, Breinl K, Ettema J, Alkema D, Jetten V (2016) A new flood type classification method for use in climate change impact studies. *Weather and Climate Extremes* 14:1-16
- Wagener T, Sivapalan M, Troch P, Woods R (2007) Catchment classification and hydrologic similarity. *Geography Compass* 1(4):901-931
- Zahedianfar F, Ghorbani K, Mofteh Halqi M, Abdolhosseini M, Dehghani A (2016) Flood frequency analysis on the basis of extreme values theory (Case Study: Arazkuseh hydrometric station, Golestan). *Journal of Soil and Water Conservation Research* 22(3):121-135 (In Persian)
- Zhang Y, Arthington A, H. Bunn S, Mackay S E, Xia J, Kennard M (2012) Classification of flow regimes for environmental flow assessment in regulated rivers: The Huai River Basin, China. *River Research and Applications* 28(7):989-1005