University of Tehran Press

Journal of the Earth and Space Physics

Homepage: https://jesphys.ut.ac.ir

Vol. 49, No. 3, Autumn 2023, P. 567-578

(Research Article)

Investigation of the distribution of major floods in the Atrak river basin

Hejazi, A.[1] ✉ | Eftekhar, H.[1] | Negahban, S.[2]

1. Department of Geomorphology, Faculty of Environmental Planning, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2. Department of Geography, Faculty of Economics, Management and Social Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran.

Corresponding Author E-mail: s.hejazi@tabrizu.ac.ir

(Received: 17 Oct 2022, Revised: 2 Sep 2023, Accepted: 26 Sep 2023, Published online: 15 Nov 2023)

Summary

Flood is one of the most destructive natural hazards, especially in arid and semi-arid areas that experience great of rainfalls. This hazard is caused by the combination of several natural and human factors. Floods occur when the flow of the river increases to a certain extent. that the water crosses the banks of the river and inundates the nearby areas, as a result it affects the communities that live in the vicinity of the rivers. In addition to that, climate change increases the possibility of floods and their magnitude. Annual 75 world floods on average, affects millions of people worldwide. About 20,000 deaths per year, resulting in economic losses of $95 billion. In recent years, the frequency of floods has increased by more than 40%, as climate change significantly affects the intensity, pattern and magnitude of deadly floods. Especially Asian countries are exposed to floods and earthquakes with a relatively high impact. In Asia, more than 90% of human casualties are caused by natural disasters that are due to flooding. Recently, Iran has experienced catastrophic floods. In addition to the impact of climate change. The impact of human activities caused by the poor management of the watershed, including deforestation, excessive livestock grazing, the development of rural and urban settlements, have reduced the hydraulic space of rivers. In all these researches, the study of floodplains, different return periods, and inundation values in each application have been analyzed. Arid and semi-arid areas are definitely more prone to flooding due to heavy rains. In the present study, in order to investigate and distribute large-scale floods in Etrak river basin, the daily inundation data of 35 hydrometer stations were used over a period of 30 years. In order to extract large floods in the region, first, using the statistical method known as the inverse numerical filter method, the base runoff was separated from the total. The results of time series analysis extracted after applying the regression numerical filter method show that in 3 decades, different behavior of floods in the catchment area are observed. In the first decade, the floods had a higher intensity, and this high intensity also had a high frequency. In the second decade, the volume of floods decreased drastically, and in the third decade, the volume of floods was the same as in the first decade, but they occurred at longer intervals. The investigation of most severe floods showed that with the increase in the volume of the total runoff, there was a large difference between it and the base runoff, and the occurrence of this process is sudden and sometimes reaches more than 10 times the base runoff. The high volume of discharge in flood periods and on the other hand, the decade fluctuation in the occurrence of severe floods in the Atrak catchment area showed that for long-term forecasting, the inverse numerical filter method can be used.

Keywords: Flood, Inverse numerical filter method, Time series, Atrak basin, Discharge.

Cite this article: Hejazi, A., Eftekhar, H., & Negahban, S. (2023). Investigation of the distribution of major floods in the Atrak river basin. *Journal of the Earth and Space Physics*, 49(3), 567-578. DOI: http//doi.org/10.22059/jesphys.2023.349426.1007460

E-mail: (1) eftekhar.hasan@yahoo.com (2) snegahban@shirazu.ac.ir

Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jesphys.2023.349426.1007460

Print ISSN: 2538-371X
Online ISSN: 2538-3906

انتشارات دانشگاه تهران

فیزیک زمین و فضا

نشانی اینترنتی مجله: http://jesphys.ut.ac.ir

دوره ۴۹، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، صفحهٔ ۵۶۷- ۵۷۸

(مقاله پژوهشی)

بررسی توزیع سیلاب‌های کلان حوضه رودخانه اترک

اسداله حجازی[۱] ✉ | حسن افتخار[۱] | سعید نگهبان[۲]

۱. گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۲. گروه جغرافیا، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: s.hejazi@tabrizu.ac.ir

(دریافت: ۱۴۰۱/۷/۲۵، بازنگری: ۱۴۰۲/۶/۱۱، پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۷/۴، انتشار آنلاین: ۱۴۰۲/۸/۲۴)

چکیده

سیلاب در طول دوران‌های مختلف همواره به‌عنوان یک بلا و آسیب محیطی مورد توجه بوده و همه‌ساله بخش زیادی از امکانات مالی و جانی انسان‌ها توسط این مخاطره طبیعی تحت‌تأثیر قرار گرفته است. کشور ایران با توجه به موقعیت کوهستانی و اقلیمی خاص خود، به‌عنوان یک کشور سیل‌خیز شناخته می‌شود. رودخانه اترک واقع در شمال‌شرقی کشور ایران نیز از این قاعده مستثنی نبوده و سیلاب‌های زیادی را دارد. به‌منظور بررسی و توزیع سیلاب‌های کلان حوضه رودخانه اترک از داده‌های آبدهی روزانه ۳۵ ایستگاه هیدورمتری طی بازه زمانی ۳۰ ساله استفاده شد. برای استخراج سیلاب‌های کلان در منطقه با استفاده از روش آماری موسوم به روش فیلتر عددی برگشتی اقدام به جداسازی رواناب پایه از کل شد. نتایج نشان داد که سری زمانی مستخرج پس از اعمال روش فیلترعددی برگشتی نشان از داشته که در ۳ دهه رفتار متفاوتی از سیلاب‌ها در حوضه آبریز مشاهده می‌شود. در دهه نخست سیلاب‌ها از شدت بالاتری برخوردار بوده که این شدت بالا از تواتر بالایی نیز برخوردار بوده است. در دهه دوم از حجم سیلاب‌ها به‌شدت کاسته شده و در دهه سوم حجم سیلاب‌ها به مانند دهه نخست بوده اما از نظر زمانی با فواصل بیشتری اتفاق افتاده‌اند. بررسی شدیدترین سیلاب‌ها نشان داد که با افزایش حجم رواناب کل اختلاف بالایی بین آن و رواناب پایه بوجود می‌آید و رخداد این فرآیند به‌صورت ناگهانی بوده و گاها به بیش از ۱۰ برابر رواناب پایه می‌رسد. حجم بالای دبی در دوره‌های سیلابی و از طرفی نوسان دهه‌ای در رخداد سیلاب‌های شدید در حوضه آبریز اترک نشان داد که جهت پیش‌بینی بلندمدت نیز می‌توان از روش فیلتر عددی برگشتی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: سیل، روش فیلتر عددی برگشتی، سری زمانی، حوضه اترک، دبی.

۱. مقدمه

سیلاب به‌عنوان یکی از شایع‌ترین بلایای محیطی زمانی اتفاق میفتد که جریانات سطحی ناشی از بارندگی‌های شدید بیشتر از ظرفیت زهکشی بوده و در نتیجه منجر به مغروق شدن نواحی خشکی شود. آمار و اطلاعات به‌دست‌آمده از سیلاب در ایران و جهان نشان‌دهنده وسعت صدمات مخرب این مخاطره با آثار منفی طولانی‌مدت بر جنبه‌های مختلف زندگی انسان، سایر موجودات زنده و منابع طبیعی است. پتانسیل سیل در حوضه‌های زهکشی به‌طور قابل‌توجهی تحت‌تأثیر ویژگی‌های مورفولوژیکی آنها قرار داردگان و لیانگ، (۲۰۱۷). در بیشتر مواقع، جریان‌های سیلابی در حوضه‌های آبخیز دارای رژیم‌های متفاوت آب و رسوب بوده، از جریان‌های صاف تا بسیار غلیظ تغییر می یابند و شناسایی و تفکیک آنها با ارزیابی دقیق صحرایی، پس از وقوع جریان امکان‌پذیر است (آرتانو و فرانز (۲۰۰۴). یکی از روش‌های متداول در پیش‌بینی هیدروگراف سیل ناشی از بارش‌های مشخص در یک حوضه آبریز، استفاده از هیدروگراف واحد لحظه‌ای است. عدم‌وجود و دسترسی به هیدروگراف واحد لحظه‌ای، به‌دلیل نبود و یا کمبود ایستگاه‌های باران‌نگاری در مناطق سیل‌خیز کشور، یکی از معضلات اساسی در مدیریت و کنترل سیلاب می‌باشد (خالقی و همکاران، ۱۳۸۹). در بررسی سیلاب‌ها تحقیقات مختلفی در سراسر دنیا و ایران صورت پذیرفته است. دوتا و همکاران (۲۰۰۰) با استفاده از مدل‌های

استناد: حجازی، اسداله؛ افتخار، حسن و نگهبان، سعید (۱۴۰۲). بررسی توزیع سیلاب‌های کلان حوضه رودخانه اترک. *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۴۹(۳)، ۵۶۷- ۵۷۸.

DOI: http//doi.org/10.22059/jesphys.2023.349426.1007460

رایانامه: (۱) eftekhar.hasan@yahoo.com (۲) snegahban@shirazu.ac.ir

CC BY NC

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

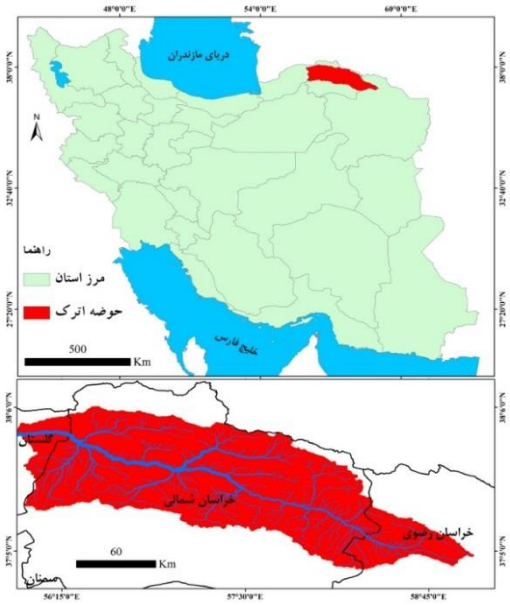
DOI: http//doi.org/10.22059/jesphys.2023.349426.1007460

هیدرولیکی به شبیه‌سازی محدوده‌های آب گرفته متأثر از وقوع سیلاب در ژاپن پرداختند. نتایج آنها بیانگر کارائی بالای مدل در پیش‌بینی پهنه‌های متأثر از سیلاب‌های آینده بوده است. هودسون و کلدیز (۲۰۰۳) با استفاده از ترکیب رویکردهای ژئومورفیک و سنجش از دور به بررسی گستره پهنه‌های سیل‌گیر در منطقه‌ای در مکزیکو پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد اگرچه داده‌های سنجش از دور قابلیت بالایی در مشخص کردن گستره پهنه‌های سیل‌گیر دارند، با این وجود نمی‌توان رویکردهای ژئومورفیک را در آنالیزهای سنجش از دوری حذف کرد. کازاکیس و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه خود به تهیه نقشه خطر سیل با استفاده از شاخص خطر سیل در شمال‌شرقی یونان پرداختند. آنها ابتدا نقشه‌های مربوط به هر یک از پارامترهای شاخص خطر سیل را تهیه کرد. سپس با استفاده از روش سلسله‌مراتبی اقدام به وزن‌گذاری نقشه‌ها کردند و در نهایت با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه پهنه‌بندی خطر سیل را استخراج کردند. تیرومورگان و کریشناونی (۲۰۱۹) با استفاده از تکنیک‌های مکانی و تصاویر ماهوارهای در منطقه تامیل نادو، نقشه خطر سیلاب را تهیه کرده که نتایج آنها در تحلیل و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سیلاب توانسته به برنامه‌ریزان شهری برای ارزیابی خطر سیل و آمادگی برای کاهش اثرات سیل کمک کند. آگنیهوتری و همکاران (۲۰۱۹) به نقشه‌برداری و پایش سیل با استفاده از داده‌های SAR و تأثیر آن بر رودخانه Ramganga در حوضه Ganga پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که وقوع سیل شدید منجر به تغییر در مورفولوژی رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی شده است. همچنین می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی باعث تغییر در عرض کانال رودخانه و سواحل آن شود. هیمایون و رشنی (۲۰۲۰) تغییرات ژئومورفیک رودخانه جهلوم که منجر به‌وقوع سیل بزرگ شده است را مورد پژوهش قرار دادند. نتایج این مطالعه درک درستی نسبت به اقدامات مدیریتی پوشش ساحلی می‌دهد که یک دلیل اصلی برای خسارت‌های اقتصادی عظیم در طول سیل است. آنوشا و بهاراتی (۲۰۲۰) به شناسایی و نقشه‌برداری سیلاب با استفاده از رادار دریچه مصنوعی و داده‌های اپتیکی اقدام کردند. آنها در این مطالعه به این نتیجه رسیدند که شناسایی نواحی مستعد سیل می‌توانند به ورودی‌های بحرانی برای مدل‌سازی سیل، تجزیه‌وتحلیل و در نتیجه به مدیریت بحران سیل کمک کنند. حجازی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی مناطق حساس به‌وقوع سیلاب در حوضه لیقوان چای با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره و سنجش از دور پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که با توجه به آسیب‌پذیری بالای مناطق ورودی تبریز، نیازمند انجام اقدامات مدیریتی و پیشگیرانه در بخش‌های بالادست حوضه آبریز هستیم. طهماسبی و همکاران (۱۳۹۶) مهم‌ترین عوامل مؤثر بر وقوع سیل در شهر ایلام را مورد پژوهش قرار دادند. نتایج آنها بیانگر چند نکته است که می‌توان به مدیریت بهینه، تقویت پوشش گیاهی، انجام فعالیت‌های آبخیزداری، تغییر مکان سکونتگاه‌هایی که در مسیر سیلاب هستند و رعایت بهره‌برداری در حریم رودخانه اشاره کرد. شفیعی مطلق و عبادتی (۱۳۹۹) پهنه‌بندی سیلاب و شبیه‌سازی رفتار هیدرولیک رودخانه را با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS در رودخانه مارون واقع در جنوب‌غرب ایران مورد پژوهش قرار دادند. به‌طوری‌که در این تحقیق مدل‌های ترکیبی به‌کار گرفته از جمله HEC-RAS، GIS و HEC-HMS نتایجی بسیارنزدیک به واقعیت را نشان می‌دهد. سلیمانی و همکاران (۱۳۹۹) الگوریتم آشکارسازی پهنه خسارات سیل را با استفاده از تصاویر سنتینل ۲ برای بررسی سیلاب فروردین سال ۱۳۹۸ در استان گلستان انجام دادند. به این نتیجه رسیدند که داده‌های راداری و انطباق آن با واقعیت‌های زمینی، نشان‌دهنده این موضوع است که الگوریتم آسیب سیل دقت مناسبی در تشخیص خسارت‌های سیل در محدوده مکانی و زمانی مورد مطالعه داشته است. مختاری و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از مدل دینامیکی HEC-RAS به تحلیل دینامیکی مخاطره سیل در مخروط‌افکنه‌های فعال واقع در شمال

غربی ایران پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که با وقوع سیلابی با دوره بازگشت ۲۵ سال، حدود ۲/ ۱۲۰ هکتار از زمین‌های کشاورزی و حدود ۹/۱ هکتار از مناطق مسکونی واقع در حاشیه رودخانه لیلان چای تحت‌تأثیر خطر سیل‌گرفتگی قرار دارند. مصری علمداری (۱۴۰۰) با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-HMS به تحلیل و پهنه‌بندی سیلاب در حوضه آبریز قلعه چای در عجب شیر پرداخت. بر اساس نتایج این مطالعه، شبیه‌سازی بارش-رواناب نشان داد که بارش‌هایی با دوره بازگشت بیشتر می‌توانند باعث ایجاد دبی‌های پیک سیلاب شوند. زیرحوضه‌های میانی حوضه به‌دلیل عواملی مانند پوشش گیاهی ضعیف، فراوانی برونزدهای سنگی، شیب زیاد، کشیدگی اندک، زمان تمرکز و تأخیر پایین از سیل‌خیزی بالایی برخوردار می‌باشند. خلج‌زاده و همکاران (۱۴۰۰) در تحقیقی با عنوان تعیین شاخص‌های فیزیکی و ژئومورفولوژیکی مؤثر بر رخداد انواع جریان‌های سیلابی در حوزه آبخیز سد کرج دریافتند که در مدل مورد استفاده پیش‌بینی رژیم رسوبی جریان‌های سیلابی و انجام اقدامات متناسب و سریع آبخیزداری در مواقع بحرانی از امتیازات این مدل کاربردی محسوب می‌شود. نمازی‌راد و همکاران(۱۴۰۰) به شناسایی نواحی مستعد سیلاب در استان گلستان با استفاده از تصاویر سنتینل و مدل‌سازی هیدرولیکی پرداختند. نتایج نشان داد به‌کارگیری دو تکنیک سنجش از دور و مدل‌سازی هیدرولیکی می‌تواند برای انجام اقدامات مدیریتی در راستای کاهش شدت سیل‌گرفتگی و پیامدهای ناشی از آن راه‌گشا باشد. در این پژوهش سعی شده تا با استفاده از روش‌های آماری به ویژگی‌های سیلاب‌های کلان حوضه آبریز اترک پرداخته شود و با استفاده از روش‌های تحلیلی اقدام به بررسی هیدروگراف‌ها و تولید آنها جهت برآورد حجم سیلاب‌ها در منطقه شود.

۲. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

این حوضه در شمال‌شرق ایران قرارگرفته که قسمت‌هایی از استان‌های گلستان و خراسان شمالی را در بر می‌گیرد و رودخانه اصلی آن رود اترک می‌باشد (شکل ۱). این حوضه از دو قسمت کوه ودشت تشکیل شده‌است و دشت عموماً قسمتی از صحرای ترکمن صحرا است که شامل استپ و جلگه مسطحی است که از بخشی از حوزه آبریز دریای خزر تشکیل یافته، ناهمواری‌ها و برجستگی مهمی جز تپه‌های بلندی و تپه‌های مصنوعی قره تپه، آلتین تخماق و قره لر در آن مشاهده نمی‌شود. مناطق کم‌ارتفاع (زیر ۵۰۰ متر ارتفاع) عموماً از سازندهای لسی تشکیل یافته‌اند. قسمت شرق اراضی به‌عنوان بالادست مرتفع‌تر وکوهستانی بوده و ارتفاعات آن به بیش از۴۰۰۰ متر می‌رسد، ارتفاعات مهم منطقه شامل کوه سونگی داغ، کوه‌های قازان قایه، باباشملی، در شرق و کوه‌های خالد نبی ونارلی با ارتفاع متوسط در قسمت میانی و جنوبی حوزه واقع گشته‌اند. ولی قسمت میانی منطقه مورد مطالعه شامل جلگه لسی چات (قسمت شمالی) تا داشلی برون و تپه ماهورهای چوپانجیق (در قسمت جنوبی و دامنه کوه‌های خالد نبی) بوده و قسمت غرب نیز شامل دشت مسطح سیلتی رسی با سطح آب زیرزمینی بالا (اراضی تنگلی تا گمیشان) است که منطقه‌ای باز با بلندی‌های کمی است. ارتفات تپه‌های لسی منفصل و متعددی که بین بیشک تپه و اینچه برون و قره ماخر دیده می‌شود، در حقیقت ارتفاعات جلگه رسی-سیلتی شور درمنطقه اینچه برون تا دریاراشامل می‌شوند. در این جلگه صاف آثار دیوار قدیمی به طول ۱۷۵کیلومتر به نام دیوار اسکندر دیده می‌شود که بعد از گذشتن از شمال گنبد در خواجه لر در دامنه ارتفاعات شرقی خاتمه می‌یابد و شروع آن از گمیشان است. این دیوار در ۲ تا ۱۵ کیلومتری شمال رودخانه گرگان ساخته شده، در قسمت غربی حوزه مرز منطقه مطالعاتی را تشکیل می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه.

۳. مواد و روش ها

در این پژوهش جهت بررسی سیلاب‌های کلان به‌وقوع پیوسته در حوضه اترک از داده‌های سری زمانی ۳۰ ساله (۱۳۶۸/۱/۱ تا ۱۳۹۸/۱۲/۲۹) آبدهی روزانه برای ۳۵ ایستگاه واقع در منطقه استفاده شد و داده‌های آماری آن از وزارت نیرو اخذ شد.

پس از بررسی سری زمانی داده‌ها و اطمینان از صحت آنها، آزمون همگنی نرمالیته بر روی داده‌های سری زمانی آبدهی روزانه، ماهیانه، فصلی و سالیانه با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام پذیرفت. پس از اطمینان از وجود همگنی داده‌ها و برازش بر توزیع نرمال، میانگین‌های روزانه، ماهانه، فصلی و سالیانه برای تعیین رژیم جریان حوضه محاسبه شد. در این تحقیق برای تعیین رواناب پایه از میانگین بلندمدت روزانه رودخانه استفاده شد. به این‌صورت که مقادیر بلندمدت آبدهی روزانه برای هر روز سال در دوره زمانی مورد مطالعه (۳۰ سال) محاسبه و به‌عنوان دبی پایه در محاسبات وارد شد. پس از محاسبه دبی پایه، مقادیر دبی روزانه در سری زمانی برای هر روز سال از مقادیر بلندمدت دبی برای همان روز کسر شد. بنابراین مقادیر منفی و صفر به‌معنی عدم‌وجود سیل در آن روز می‌باشد. بر عکس مقادیر مثبت بر وجود سیل در آن روز اشاره دارند. به این‌ترتیب پس از کسر سری زمانی بلندمدت از سری زمانی روزانه برای کل دوره، مقادیر سیلاب با تداوم مشخص تعیین شد. لازم به ذکر است برای تعیین زمان تداوم سیل، مقادیر مثبت بین دو صفر متوالی مبنای محاسبه قرار گرفت.

به‌منظور شناسایی سیلاب‌ها از روش آماری فیلتر عددی برگشتی بهره گرفته شد.

۴. اندازه‌گیری، مشاهده و محاسبه

این روش اساساً طبق (رابطه ۱) برای تحلیل و پردازش سیگنال‌ها و فرایند جداسازی سیگنال‌ها با فرکانس بالاز فرکانس پایین توسعه یافته است.

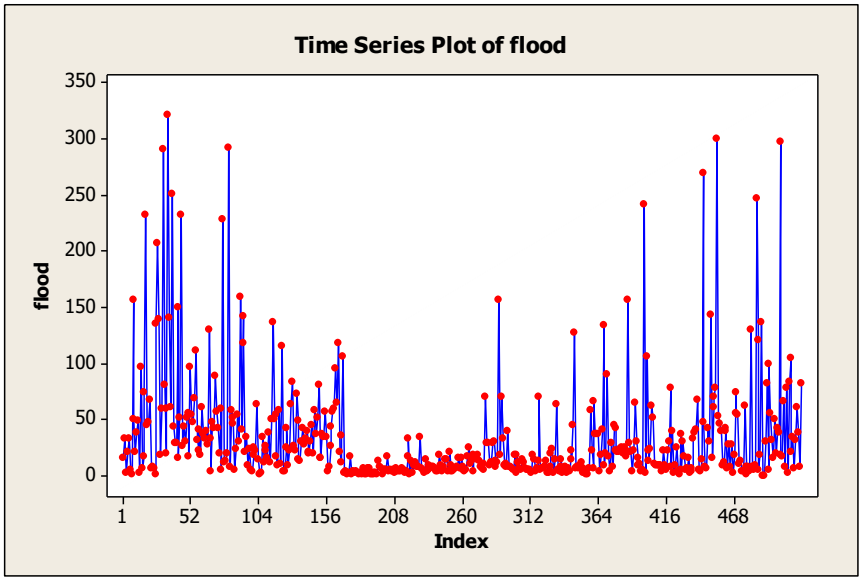
$$F_k=af_k+\frac{1+a}{2}\left(y_k-y_{k-1}\right) \qquad (۱)$$

که در آن f_k رواناب مستقیم در زمان kام، y_k رواناب کل و a ضریب فیلتر و (y_k-y_{k-1}) مقدار دبی پایه فیلترشده را نشان می‌دهد. این رابطه سه بار روی داده‌ها اعمال می‌شود؛ بدین شکل که در مرتبه اول از ابتدای سری داده‌ها تا انتها و مرتبه دوم بر عکس از آخرین داده به سمت اول و بار سوم از ابتدا تا انتهای رابطه مذکور به‌کار برده می‌شود. تعداد تکرار باعث افزایش نرم‌شدگی منحنی حاصله می‌شود. حرکت از انتهای سری داده‌ها به اولین داده به‌منظور کنترل و برطرف‌کردن هر گونه خطای احتمالی در مرتبه اول به مورد اجرا قرار می‌گیرد. بررسی‌های

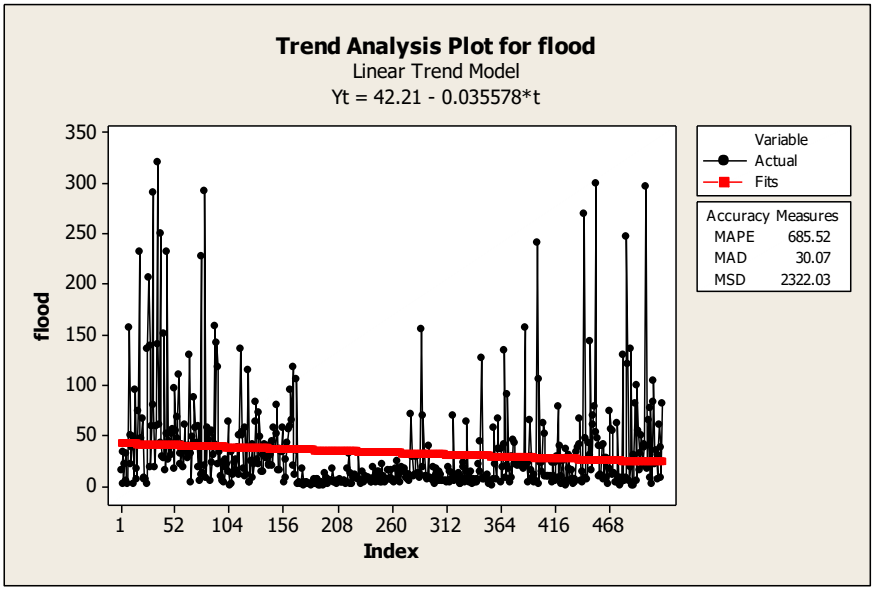
انجام‌شده نشان می‌دهد که ضریب فیلتر عمدتاً بین ۰/۹ تا ۰/۹۵ تغییر می‌کند (قنبرپور و همکاران، ۱۳۸۷).

۵. بحث و نتایج

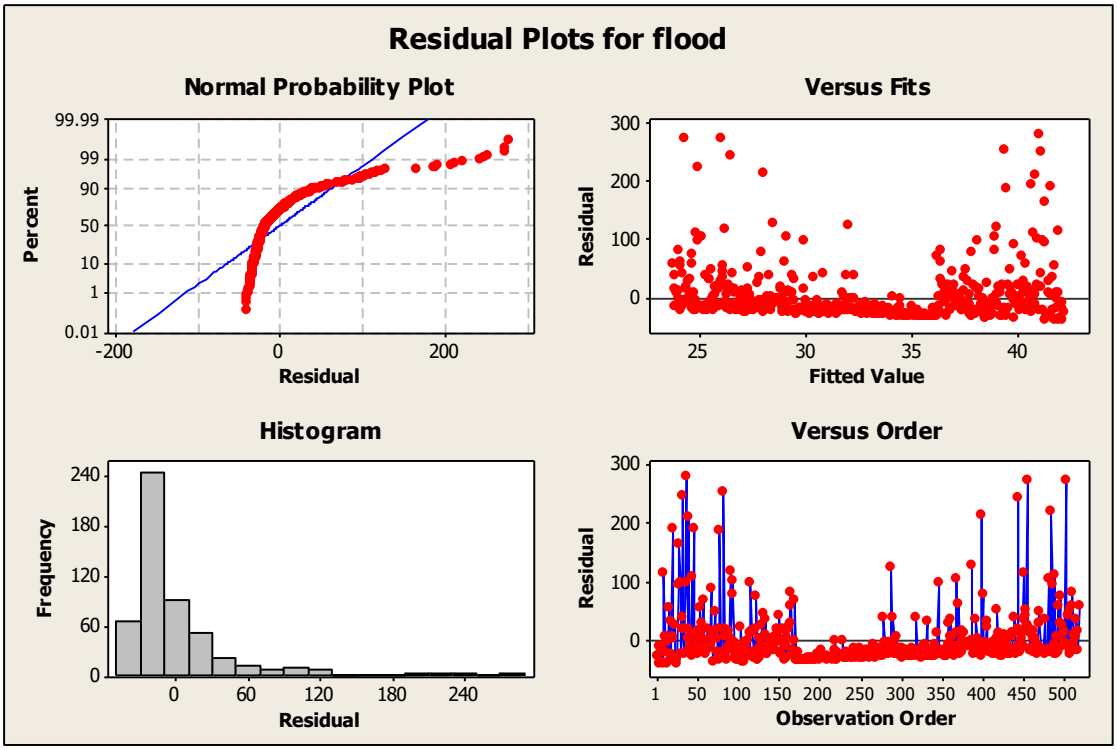
پس از بررسی‌های انجام شده بر روی ۳۵ ایستگاه دبی‌سنجی در سطح حوضه آبریز اترک با استفاده از روش فیلتر عددی برگشتی رژیم سیلاب‌های حوضه رودخانه اترک استخراج شد. در شکل ۲، سری زمانی سیلاب نمایش داده شده است. از تعداد ۱۰۹۵۹روز تحت بررسی، تعداد ۶۰۰ روز از موارد مقادیر دبی بیشتر از میانگین بلندمدت رودخانه بوده است و لذا سیلاب داشته‌ایم. در شکل ۳، روند تغییرات سیلاب در طی دوره آماری آورده شده است. بر این اساس مشاهده می‌شود که روند سیلاب‌ها بیشتر به‌صورت کاهشی هستند و هر چه به زمان حال نزدیک می‌شویم از فراوانی و شدت آن به‌صورت ملایم کاسته می‌شود. لازم به توضیح است که در ابتدا و انتهای دوره آماری بیشینه سیلاب‌های کلان به‌وقوع پیوسته است. این اتفاق حاکی از آن است که دوره‌های بازگشت سیلاب‌های کلان در منطقه از روند تقریباً ثابتی برخوردار بوده و همین امر سبب می‌شود تا شرایط برای پیش‌بینی میان‌مدت و بلندمدت در سطح حوضه آبریز فراهم شود.



شکل ۲. سری زمانی سیلاب‌های حوضه اترک.

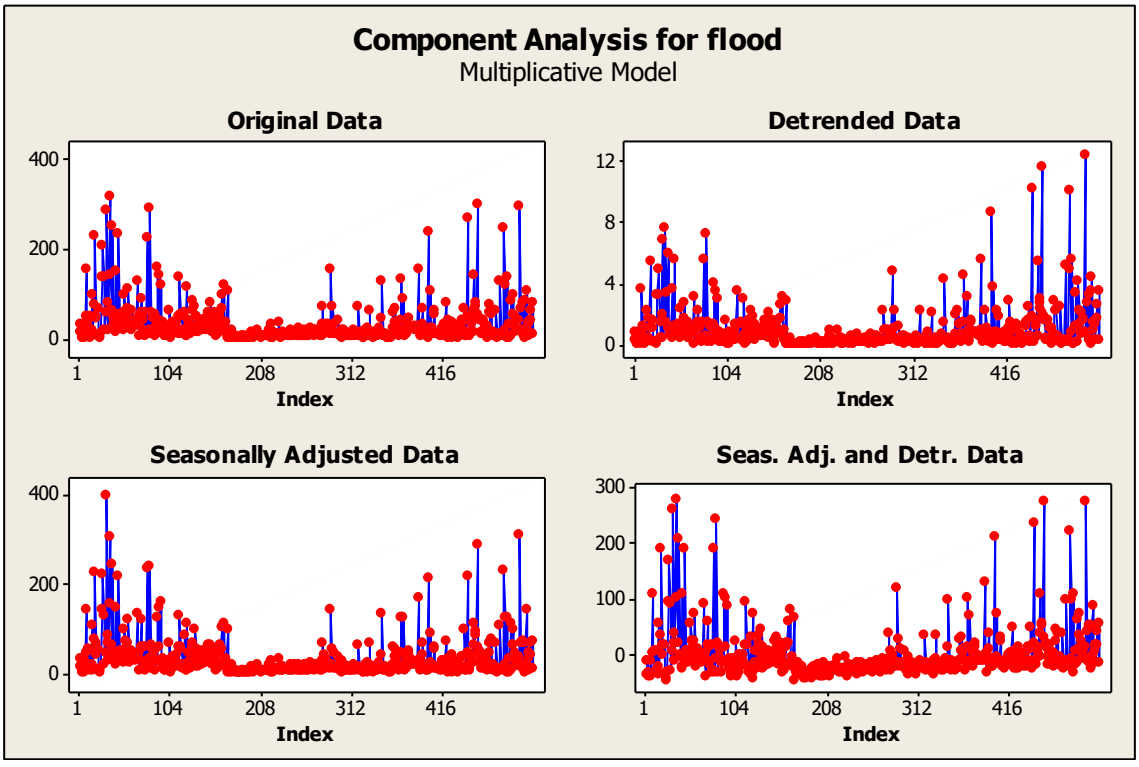


شکل ۳. بررسی روند سیلاب‌ها در حوضه اترک.



شکل ٤. مشخصات سیلاب‌های به‌وقوع پیوسته.

در شکل ۴، مشخصات آماری ۶۰۰ روز سیلابی به نمایش در آمده که داده‌های سیلاب نرمال بوده و از سویی فراوانی رخداد نشان داد که بیشینه روزهای سیلابی در منطقه نسبت به رواناب پایه اختلاف ناچیزی داشته و لذا روزهای سیلابی کلان در منطقه از رخداد کمتری برخوردار است.



شکل ۵. تحلیل مؤلفه‌های سیلاب‌ها به‌صورت فصلی.

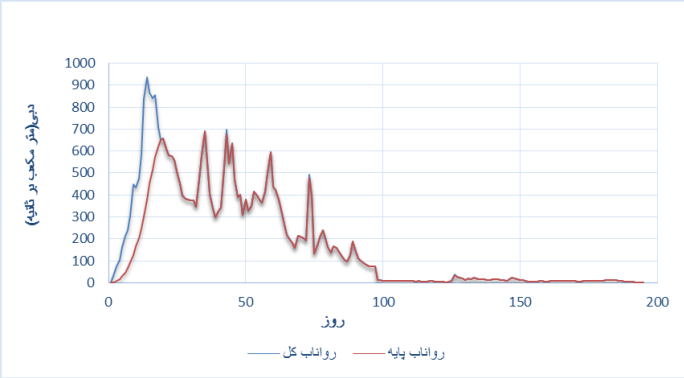
با بررسی مؤلفه‌های سیلاب‌های کلان در حوضه اترک مشاهده شد که در پایان دوره آماری سیلاب‌ها نسبت به دوره‌های قبل خود با افزایش همراه بوده و این وضعیت در در تحلیل غیرروندی مشاهده می‌شود. در تحلیل فصلی (شکل ۵) که بیشتر به داده‌های واقعی ثبت شده بود، مشاهده شد که شدت سیلاب‌ها در ابتدای دوره آماری بالا بوده ولی در تحلیل غیرروندی مشابهت بالایی در شدت و فراوانی سیلاب‌ها در ابتدا و انتها دوره آماری مشهود است. پس از بررسی‌های به‌عمل‌آمده بر روی سری زمانی سیلاب‌ها در منطقه و شناسایی آنها از نظر ویژگی‌های دوره‌ای و فصلی اقدام به بررسی برخی سیلاب‌های کلان در منطقه شد تا به‌صورت جزئی‌تر ویژگی هر سیلاب مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد. در این بین ۳ سیل با حجم بسیار بالایی از دبی همراه بودند که بررسی جزئی‌تر آن پرداخته شده است.

۵-۱. بررسی موردی برخی سیلاب‌های کلان

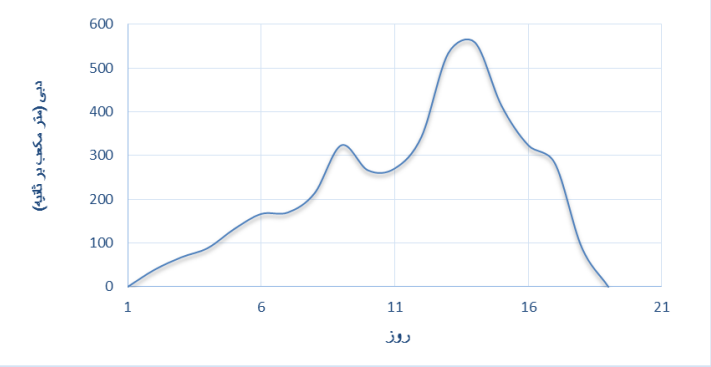
پس از تفکیک هیدروگراف‌های سیل به روش فیلتر عددی برگشتی و محاسبه رواناب پایه و رواناب مستقیم، بر اساس حجم تخلیه، تعداد ۳ سیلاب استخراج شد که در ادامه بحث، ویژگی‌های هر یک از آنها به‌همراه شکل تفکیک هیدروگراف جریان به روش فیلتر عددی برگشتی و شکل هیدروگراف رواناب مستقیم نشان داده شده است.

۵-۱-۱. سیلاب شماره ۱

سیلاب نخست در تاریخ ۱۳۷۲/۲/۱ به‌وقوع پیوسته است. بر اساس (شکل‌های ۶ و ۷) و (جدول ۱) مشاهده می‌شود که در ابتدای سری آماری حجم بیشینه خود رسیده و مقدار دبی به بیش از ۵۵۰ مترمکعب برثانیه رسیده است. زمان پایه برای بررسی ۱۹ روز و مدت‌زمان رسیدن به اوج خود ۱۴ روز می‌باشد. این سیل در مدت‌زمان ۵ روز که ادامه داشته و در نهایت فروکش کرده است مقداری معادل ۳۷۰۳۴۹۲۸۵ را در پی داشته است. پس از فروکش‌کردن سیلاب شرایط به حالت عادی رودخانه بازگشته به گونه‌ای که رواناب پایه و کل پس از اتمام سیل شرایط نرمالی را از خود نشان می‌دهند.



(الف)



(ب)

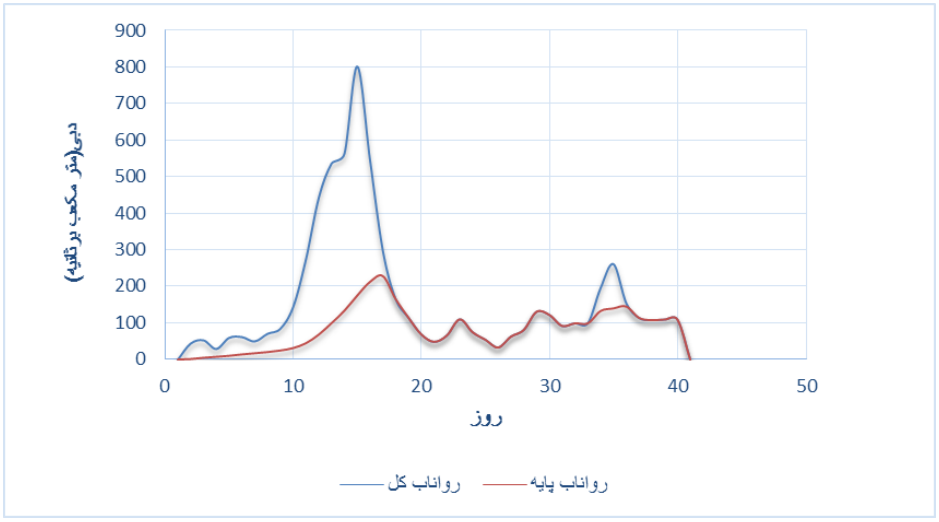
شکل ٦. الف) رواناب پایه و رواناب کل برای سیل شماره ۱، ب) رواناب کل تفکیک‌شده برای سیل شماره ۱.

جدول ۱. مشخصات سیلاب شماره ۱.

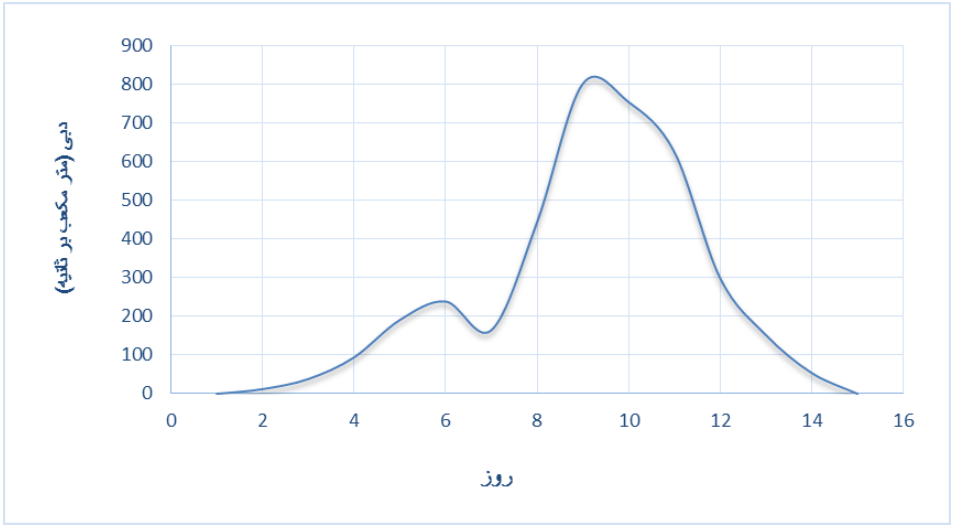
زمان شروع سیل	زمان پایان سیل	زمان پایه	زمان رسیدن به اوج	دبی اوج (متر مکعب بر ثانیه)	زمان فروکش	حجم رواناب (متر مکعب)
۱۳۷۲/۲/۱	۱۳۷۲/۲/۱۹	۱۹ روز	۱٤ روز	۵۵۸/۹ متر مکعب بر ثانیه	۵ روز	۳۷۰۳٤۹۲۸۵

۵-۱-۲. سیلاب شماره ۲

سیلاب شماره ۲ که در تاریخ ۱۳۷۶/۱/۹ به‌وقوع پیوسته یکی از شدیدترین سیلاب‌های منطقه می‌باشد. بدین‌صورت که پس از بررسی هیدروگراف سیل مشاهده می‌شود که اختلاف بزرگی بین رواناب پایه و کل در رودخانه به ثبت رسیده که با توجه به نمودار ترکیبی رواناب کل و پایه کاملاً مشخص می‌باشد. در این روز حجم سیلاب روانه‌شده ۳۳۳۹۹۴۱۳۲ مترمکعب بوده که مقدار آن در اوج خود به بیش از ۸۰۰ مترمکعب برثانیه رسیده است. زمان اوج و فروکش این سیل به‌ترتیب ۹ و ۶ روز بوده که در این بین زمان پایه سیلاب بر اساس محاسبات انجام شده ۱۵ روز بود (شکل‌های ۸ و ۹ و جدول ۲).



(الف)



(ب)

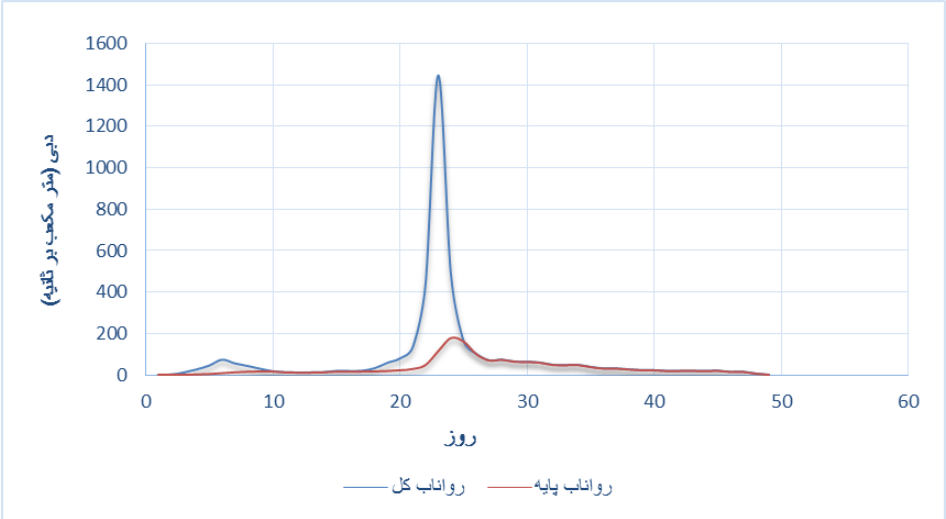
شکل ۷. الف) رواناب پایه و رواناب کل برای سیل شماره ۲، ب) رواناب کل تفکیک‌شده برای سیل شماره ۲.

جدول ۲. مشخصات سیلاب شماره ۲.

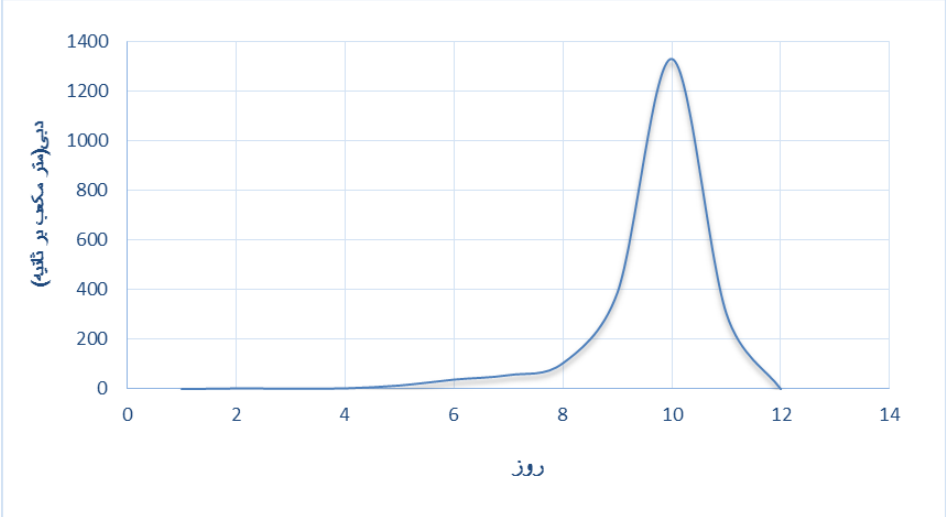
زمان شروع سیل	زمان پایان سیل	زمان پایه	زمان رسیدن به اوج	دبی اوج (متر مکعب بر ثانیه)	زمان فروکش	حجم رواناب (متر مکعب)
۱۳۷٦/۱/۹	۱۳۷٦/۱/۲۱	۱۵ روز	۹ روز	۸۰۲/۹	٦ روز	۳۳۳۹۹٤۱۳۲

۵-۱-۳. سیلاب شماره ۳

بررسی‌ها نشان داد در سیلاب شماره ۳ که در تاریخ ۱۳۸۷/۱۰/۱۹ بود، سیلابی با حجم انتقالی دبی بالا به ثبت رسیده است. از مشخصات این سیل می‌توان به دبی اوج آن پرداخت که به بیش از ۱۳۳۰ مترمکعب برثانیه رسیده و این حجم سیلاب با توجه به (شکل‌های ۱۰ و ۱۱) دلالت بر این امر داشته که اختلاف فاحشی در این تاریخ بین رواناب پایه و کل مشاهده می‌شود. اختلاف نزدیک به ۱۲۰۰ مترمکعب برثانیه رواناب کل نسبت به رواناب پایه گویای بالابودن دبی جریان رودخانه در تاریخ مذکور است. زمان رسیدن به اوج و زمان پایه برای این سیل به‌ترتیب ۱۰ و ۱۲ روز می‌باشد و حجم رواناب کل در این دوره ۱۹۳۹۸۱۷۷۰ متر مکعب بوده است (جدول ۳).



(الف)



(ب)

شکل ۸. الف) رواناب پایه و رواناب کل برای سیل شماره ۳، ب) رواناب کل تفکیک‌شده برای سیل شماره ۳.

جدول ۳. مشخصات سیلاب شماره ۳.

زمان شروع سیل	زمان پایان سیل	زمان پایه	زمان رسیدن به اوج	دبی اوج (متر مکعب بر ثانیه)	زمان فروکش	حجم رواناب (متر مکعب)
۱۳۸۷/۱۰/۱۹	۱۳۸۷/۱۰/۳۰	۱۲ روز	۱۰ روز	۱۳۳۰/۸	۲ روز	۱۹۳۹۸۱۷۷۰

۶. نتیجه‌گیری

وقوع سیلاب‌ها با دوره‌های بازگشت متفاوت و مهم‌تر از آن ناشناس بودن رفتار سیلاب‌های هر حوضه آبریز از دلایل عمده در عدم پایش و پیش‌بینی سیلاب‌ها به حساب می‌آید. در همین راستا سعی شد تا به بررسی سیلاب‌های کلان حوضه آبریز رودخانه اترک پرداخته شود. نتایج نشان دادند که طی بازه ۳۰ ساله و با استفاده روش فیلترعددی برگشتی سیلاب‌ها دارای یک نوسان تقریباً ثابت هستند. بدین‌صورت که در دهه نخست سیلاب‌های شدیدی مشاهده شد اما در دهه دوم فراوانی رخداد این نو سیلاب‌ها به حداقل رسیده بود. از طرفی در دهه سوم به یکباره فراوانی سیلاب‌های شدید روندی افزایشی به خود گرفته است. لازم به توضیح است که رفتار سیلاب‌های شدید در سری زمانی ناهمگون نبوده و دبی‌های حداکثر در دهه سوم شباهت بالایی به دهه نخست داشتند. نکته دیگر در بررسی سیلاب‌ها نشان داد در دهه نخست سری زمانی سیلاب‌های کلان از نظر زمانی نزدیک به یکدیگر به‌وقوع پیوسته‌اند، اما در دهه سوم با فواصل زمانی این گونه سیلاب‌ها به ثبت رسیده‌اند. بررسی‌ها نشان داد روند معناداری در سیلاب‌های منطقه وجود نداشته اما درکل با شیب ملایمی از شدت سیلاب‌ها کاسته شده است. نتایج حاصل از سیلاب‌های کلان و شدید در حوضه آبریز نشان داد که این نوع سیلاب‌ها در دوره‌های مختلفی به‌وقوع می‌پیوندد. سیلاب‌های مورد بررسی نشان دادند که شدیدترین آنها دارای اختلاف فاحشی بین دبی پایه و رواناب کل بوده و این اختلاف گاها به بیش از ۱۰ برابر ختم می‌شود. ناگهانی بودن سیلاب‌ها در منطقه سبب افزایش رسوبات در پایین دست رودخانه و حوضه آبریز شده و این نوع افزایش ناگهانی دبی جریان در رودخانه نشان از تأثیرپذیری این منطقه از اقلیم خود در طول سال است.

مراجع

حجازی، ا.؛ اندریانی، ص.؛ الماس‌پور، ف. و مختاری اصل، ا. (۱۳۹۴). استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و سنجش از دور در محیط GIS برای بررسی مناطق حساس به‌وقوع سیلاب درحوضه لیقوان چای. *مجله هیدروژئومورفولوژی*، ۲(۳)، ۶۱-۸۰.

خالقی، م.؛ قدوسی، ج.؛ احمدی، ح. و کامیار، م. (۱۳۸۹). بررسی کارایی روش هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی در برآورد دبی اوج سیلاب. *فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی*، ۵(۲)، ۳-۲۵.

خلج‌زاده، م.؛ وهاب‌زاده، ق.؛ فیض‌نیا، س.؛ نظری سامانی، ع. و موسوی، ر (۱۴۰۰). تعیین شاخص‌های فیزیکی و ژئومورفولوژیکی مؤثر بر رخداد انواع جریان‌های سیلابی در حوزه آبخیز سد کرج. *نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز*. ۳۱(۲)، ۴۶۰-۴۷۸.

سلیمانی، ک.؛ شریفی پور، م. و عبدلی بوژانی، س. (۱۳۹۹). الگوریتم آشکارسازی پهنهٔ خسارت سیل با استفاده از تصاویر سنتینل۲ (مطالعهٔ موردی: سیلاب فروردین ۱۳۹۸ استان گلستان). *مجله اکوهیدرولوژی*، ۷(۲)، ۳۰۳-۳۱۲.

شفیعی مطلق، خ. و عبادتی، ن. (۱۳۹۹). پهنه‌بندی سیلاب و شبیه‌سازی رفتار هیدرولیک رودخانه با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS. (مطالعهٔ موردی: رودخانهٔ مارون-جنوب‌غرب ایران). *مجله اکوهیدرولوژی*، ۷(۱)، ۳۹۷-۴۰۹.

طهماسبی، ق.؛ عزیزی کاوه، ع. و فرجی، م. (۱۳۹۶). مهم‌ترین عوامل مؤثر بر وقوع سیل در شهر ایلام، کنفرانس سالانه پژوهش‌های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

قنبر پور، م.؛ تیموری، م. و غلامی، ش. (۱۳۸۷). مقایسه روش‌های برآورد دبی پایه براساس تفکیک هیدروگراف جریان (مطالعه موردی حوضه‌آبخیز کارون). *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۴۴(۱۲)، ۱-۱۳.

مصری علمداری، پ. (۱۴۰۰). تحلیل مکانی مخاطره سیلاب در حوضه آبریز قلعه چای عجب شیر با استفاده از GIS و مدل HEC-HMS. *مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۱۰(۱)، ۹۳-۱۱۱.

مختاری، د.؛ رضایی مقدم، م. و معزز، س. (۱۴۰۰). تحلیل دینامیکی مخاطره سیلاب در مخروط‌افکنه‌های فعال با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS و تکنیک (GIS مطالعه موردی: مخروط‌افکنه لیلان، شمال غرب ایران). *مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۹(۴)، ۱۶۹-۱۸۵.

نمازی‌راد، ا.؛ محسنی، ن. و حسین‌زاده، ر. (۱۴۰۰). شناسایی نواحی مستعد سیلاب در استان گلستان با استفاده از تصاویر سنتینل و مدل‌سازی هیدرولیکی. *مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی*، ۱۰(۳)، ۴۰-۵۶.

Arattano, M., & Franzi, L. (2004). Analysis of different water-sdiment flow processes in a mountain torrent. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 783-791.

Anusha, N., & Bharathi, B. (2020). Flood detection and flood mapping using multi-temporal synthetic aperture radar and optical data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 23(2), 207-219.

Agnihotri, A. K., Ohri, A., Gaur, S., Das, N., & Mishra, S. (2019). Flood inundation mapping and monitoring using SAR data and its impact on Ramganga River in Ganga basin. *Environmental monitoring and assessment*, 191(12), 1-16.

Dutta, D., Herath, S., & Musiake, K. (2000). Flood inundation simulation in a river basin using a physically based distributed hydrologic model. *Hydrological Processes*, 14(3), 497–519.

Guan, M., & Liang, Q. (2017). A two-dimensional hydro-morphological model for river hydraulics and morphology with vegetation. *Environmental Modelling & Software*, 88, 10-21.

Himayoun, D., & Roshni, T. (2020). Geomorphic changes in the Jhelum river due to an extreme flood event: a case study. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(1), 1-15.

Hudson, P. F., & Colditz, R. R. (2003). Flood delineation in a large and complex alluvial valley, lower Panuco basin, Mexico. *Journal of Hydrology*, 280(1-4), 229-245.

Kazakis, N., Kougias, I., & Patsialis, T. (2015). Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope Evros region, Greece. *Science of the Total Environment*, 538, 555-563.

Thirumurugan, P., & Krishnaveni, M. (2019). Flood hazard mapping using geospatial techniques and satellite images—a case study of coastal district of Tamil Nadu. *Environmental monitoring and assessment*, 191, 1-17.