



## Identification and Analysis of the Dominant Factors Contributing in Intensification of Floods and their Damages in the Karkheh Basin Flood Event in April 2019

N. Bayat-Afshary<sup>1</sup>, Sh. Khojeh<sup>2</sup>, and M. Danesh-Yazdi<sup>3\*</sup>

### Abstract

Human interventions, including land-use change and encroachment on river boundaries along with the impacts of the climate change have resulted in an increase in flood damages. This study aimed to identify and analyze the factors intensifying the floods of April 2019 in the Khuzestan province. To this end, we determined the return period of large floods in the region in April 2019; investigated land-use changes between 2000 and 2018 by using the random forest classifier; explored the changes in the soil moisture using remote sensing data; and analyzed the rule curve of the Karkheh and Dez dams. The results showed that the discharge observed at the Jelogir station, as the nearest station upstream of Karkheh Dam had a return period of 262 years, which is far greater than the return period of historical floods in the study area. The weak correlation between runoff intensity and antecedent soil moisture at 5% confidence level during 30, 45, 60 and 120 days before the flood indicated that beside the antecedent soil moisture other factors such as rainfall intensity and snowmelt were contributing to the intensified flood. We further concluded that the change in the land-use between 2000 and 2018 in the study area cannot be considered as a strong factor in the intensification of floods. Finally, the operation of Dez Dam in the water year of 2018-2019 had a much more effective impact on the flood control of April 2019 compared to the operation of Karkheh Dam.

**Keywords:** Karkheh River Basin, April 2019 Floods, Land-Use Changes, Antecedent Soil Moisture, Khuzestan Province.

Received: August 5, 2022

Accepted: November 2, 2022

## شناسایی و تحلیل عوامل مؤثر در تشدید سیلاب و خسارت ناشی از آن در رخداد سیل فروردین ۱۳۹۸ در حوضه آبریز کرخه

نوشده‌ت بیات افشاری<sup>۱</sup>، شکوفه خوجه<sup>۲</sup> و محمد دانش یزدی<sup>۳\*</sup>

### چکیده

مداخلات انسانی از جمله تغییر کاربری اراضی و تجاوز به حریم رودخانه، به همراه اثرات تغییر اقلیم، منجر به افزایش خسارت‌های ناشی از سیلاب شده است. هدف اصلی این مطالعه، شناسایی و تحلیل عوامل مؤثر بر تشدید سیلاب ۱۳۹۸ و خسارت‌های ناشی از آن در استان خوزستان است که در این راستا به تعیین دوره بازگشت سیل‌های بزرگ منطقه در فروردین ۱۳۹۸، بررسی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷، بررسی تغییرات میزان رطوبت خاک با استفاده از داده‌های سنجش از دور و همچنین تحلیل منحنی فرمان سدهای کرخه و دز پرداخته شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که دبی مشاهده شده در ایستگاه جلگیر که نزدیک‌ترین ایستگاه در بالادست سد کرخه است، دوره بازگشتی معادل ۲۶۲ سال داشته که به مراتب بزرگتر از دوره بازگشت سیلاب‌های تاریخی در منطقه مورد مطالعه است. همبستگی ضعیف مشاهده شده بین شدت رواناب و میزان رطوبت پیشین خاک در سطح اطمینان ۵ درصد طی ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۱۲۰ روز قبل از وقوع سیلاب حاکی از تأثیر همزمان عوامل دیگر از جمله شدت بارش و ذوب برف بر تشدید سیلاب بوده است. با توجه به نتایج تغییرات سطح اراضی شهری، خاک، پهنه‌های آبی و پوشش گیاهی بین سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۹۷، تغییر کاربری اراضی در منطقه مطالعه را نمی‌توان عامل قوی در تشدید سیلاب به وقوع پیوسته دانست. در نهایت، نحوه بهره‌برداری از سد دز در سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ نسبت به نحوه بهره‌برداری از سد کرخه تأثیر بسیار مؤثرتری روی کنترل سیلاب فروردین ۱۳۹۸ داشته است.

**کلمات کلیدی:** حوضه کرخه، سیل فروردین ۱۳۹۸، تغییرات کاربری اراضی، رطوبت پیشین خاک، استان خوزستان.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۵/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۸/۱۱

1- Ph.D. Student of Water Resources Management, Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.

2- Graduated student in Environmental Engineering, Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran. Email: danesh@sharif.edu

\*- Corresponding Author

DOI: [20.1001.1.17352347.1401.18.3.7.9](https://doi.org/10.1001.1.17352347.1401.18.3.7.9)

۱- دانشجوی دکتری مهندسی عمران-گرایش مدیریت منابع آب، گروه مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

۲- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی عمران-گرایش مهندسی محیط‌زیست، گروه مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

۳- استادیار، گروه مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

\*- نویسنده مسئول

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



جامع برای مطالعه و پیشگیری از خسارات ناشی از سیل، نه تنها در استان خوزستان، بلکه سایر مناطق کشور شود تا از طریق برنامه‌ریزی برای افزایش تاب‌آوری سیستم‌های هیدرولوژیک، خسارات سیلاب‌های آینده به مراتب کاهش پیدا کند.

## ۲- روش تحقیق

### ۲-۱- منطقه مطالعه

با توجه به اینکه عمده‌ی خسارت وارد شده به استان خوزستان در رخداد سیل فروردین ۱۳۹۸ در پایین‌دست سد کرخه اتفاق افتاده است، زیرحوضه آبریز درجه دوم کرخه به عنوان منطقه مطالعه انتخاب شد. این زیر حوضه بخشی از حوضه آبریز درجه اول خلیج فارس و دریای عمان است که دارای مساحت ۵۱۹۱۲ کیلومتر مربع است و بین مختصات جغرافیایی ۴۶ درجه و ۶ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی و ۵۸ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۳۴ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. حدود ۶۰ درصد این زیرحوضه را مناطق کوهستانی و ۴۰ درصد را مناطق کوهپایه‌ای تشکیل می‌دهند. مناطق مرتفع اغلب در قسمت شمال شرقی این زیرحوضه و مناطق پست‌تر در قسمت‌های غربی و جنوبی قرار دارند. به طور متوسط، ارتفاع این حوضه برابر با ۱۴۹۸ متر است. همچنین، بارندگی و تبخیر-تعرق سالانه حوضه کرخه به ترتیب به طور متوسط ۵۲۵ و ۱۳۳ میلی‌متر است. این زیرحوضه خود شامل سه زیرحوضه درجه سوم سیمره، کشکان و کرخه است که در شکل ۱ نشان داده شده است. زیرحوضه سیمره دارای مساحت ۲۹۶۲۰ کیلومتر مربع و شامل سه رود اصلی گاماسیاب، قره‌سو و سیمره است و بخشی از رودخانه بزرگ کرخه را شامل می‌شود. زیرحوضه کشکان در استان لرستان واقع شده و در برگیرنده رود مهم کشکان است که در محل تلاقی سه زیرحوضه به رودخانه کرخه وارد می‌شود. این زیرحوضه دارای ۹۵۰۹ کیلومتر مربع مساحت بوده و ۱۸/۵ درصد از مساحت زیرحوضه آبریز درجه دوم کرخه را شامل می‌شود. زیرحوضه درجه سوم کرخه با مساحت ۱۲۵۱۴ کیلومتر مربع، ۲۴/۳ درصد از حوضه آبریز درجه دوم کرخه را پوشش می‌دهد که ادامه رودخانه کرخه را در بر می‌گیرد و بخش‌هایی از استان‌های لرستان، ایلام و خوزستان را شامل می‌شود. به جز سوسنگرد، شهر مهم دیگری در این زیرحوضه قرار ندارد. با توجه به تشابه اسمی دو زیرحوضه درجه دوم و درجه سوم کرخه و رفع هرگونه ابهام احتمالی، منظور از زیرحوضه کرخه در ادامه این مقاله، زیرحوضه درجه دوم کرخه است. زیرحوضه آبریز کرخه از منظر تقسیم‌بندی استانی شامل هفت استان کردستان، کرمانشاه، همدان، اراک، ایلام، لرستان و خوزستان است که چهار استان کرمانشاه، لرستان، خوزستان و همدان بخش اعظم این حوضه را تشکیل می‌دهند.

اگرچه در سالیان اخیر تغییر اقلیم بر شدت و فراوانی رخداد‌های حدی در بسیاری از نقاط جهان از جمله ایران تأثیر بسزایی داشته است (Allen et al., 2001)، عدم پیش‌بینی صحیح این رخدادها و همچنین فعالیت‌های انسانی مانند تغییر کاربری اراضی، از بین بردن پوشش‌های گیاهی، افزایش شدت فرسایش، تجاوز به حریم رودخانه‌ها و غیره موجب تشدید خسارات حاصل از وقوع سیلاب‌های حدی شده است (Isik et al., 2008). بارش‌های سیل‌آسای فروردین ۱۳۹۸ در استان خوزستان از جمله این رخداد‌های حدی بود که بر اساس بررسی‌های اولیه، خساراتی بالغ بر ۴۰ هزار میلیارد ریال به بخش‌های کشاورزی، مسکن شهری و روستایی، حمل و نقل، تأسیسات زیربنایی و میراث فرهنگی تحمیل نمود. همچنین، در این سیل، ۲۷۴ روستا در استان خوزستان تخلیه اضطراری شدند که اکثر آنها در حاشیه رودخانه‌های دز و کرخه قرار داشتند (SRCIF, 2020). با توجه به این که این استان در مناطق کم ارتفاع کشور از نظر توپوگرافی قرار دارد، این موضوع سبب شده تا رواناب حاصل از بارش‌هایی که در بالا دست رخ می‌دهد، در طی حرکت خود از مناطق پرشیب بالادست به سمت کم ارتفاع پایین‌دست شدت گرفته و به سدهای این استان برسد. سیل‌های مهیب بهمن‌ماه ۱۳۴۷ و ۱۳۵۸ نیز مؤید این موضوع هستند (Liu et al., 2005).

از زمان وقوع سیل، عوامل متعددی به عنوان دلایل اصلی خسارات به بار آمده عنوان شده‌اند که از آن جمله می‌توان به تغییر کاربری اراضی در بخش‌های کشاورزی و شهری، عدم بهره‌برداری صحیح از سدهای منطقه و به روز نبودن نقشه‌های خطرپذیری سیلاب اشاره نمود. عدم توجه به لایروبی رودخانه‌ها و کانال‌هایی که به دلایلی خشکسالی‌های اخیر کمتر مورد توجه قرار گرفته بودند، از دیگر عوامل تشدید سیلاب در این استان عنوان شده است (IPRC, 2019). با توجه به اهمیت مطالعه همه‌جانبه این موضوع، هدف اصلی مطالعه حاضر، شناسایی و تحلیل عوامل مؤثر در تشدید سیل و خسارت ناشی از سیل فروردین ۱۳۹۸ در استان خوزستان بوده است. به طور مشخص، این مطالعه به دنبال پاسخ به سؤالات زیر بوده است: (۱) در طی سال‌های اخیر، کاربری اراضی در منطقه مطالعه به چه نحوی تغییر پیدا کرده است؟ (۲) روند تاریخی تغییرات میزان رطوبت خاک چگونه بوده است و آیا سهم بسزایی در تشکیل رواناب‌های سطحی با شدت زیاد داشته است؟ (۳) آیا این امکان وجود داشته است که سیلاب‌های ۱۳۹۸ با سدهای بزرگی مانند کرخه و دز به طور کامل کنترل شوند و آیا خسارات پایین دست این سدها ناشی از عدم مدیریت صحیح بهره‌برداری از سد بوده است؟ امید است که نتایج این مطالعه بتواند منجر به ارائه یک چارچوب

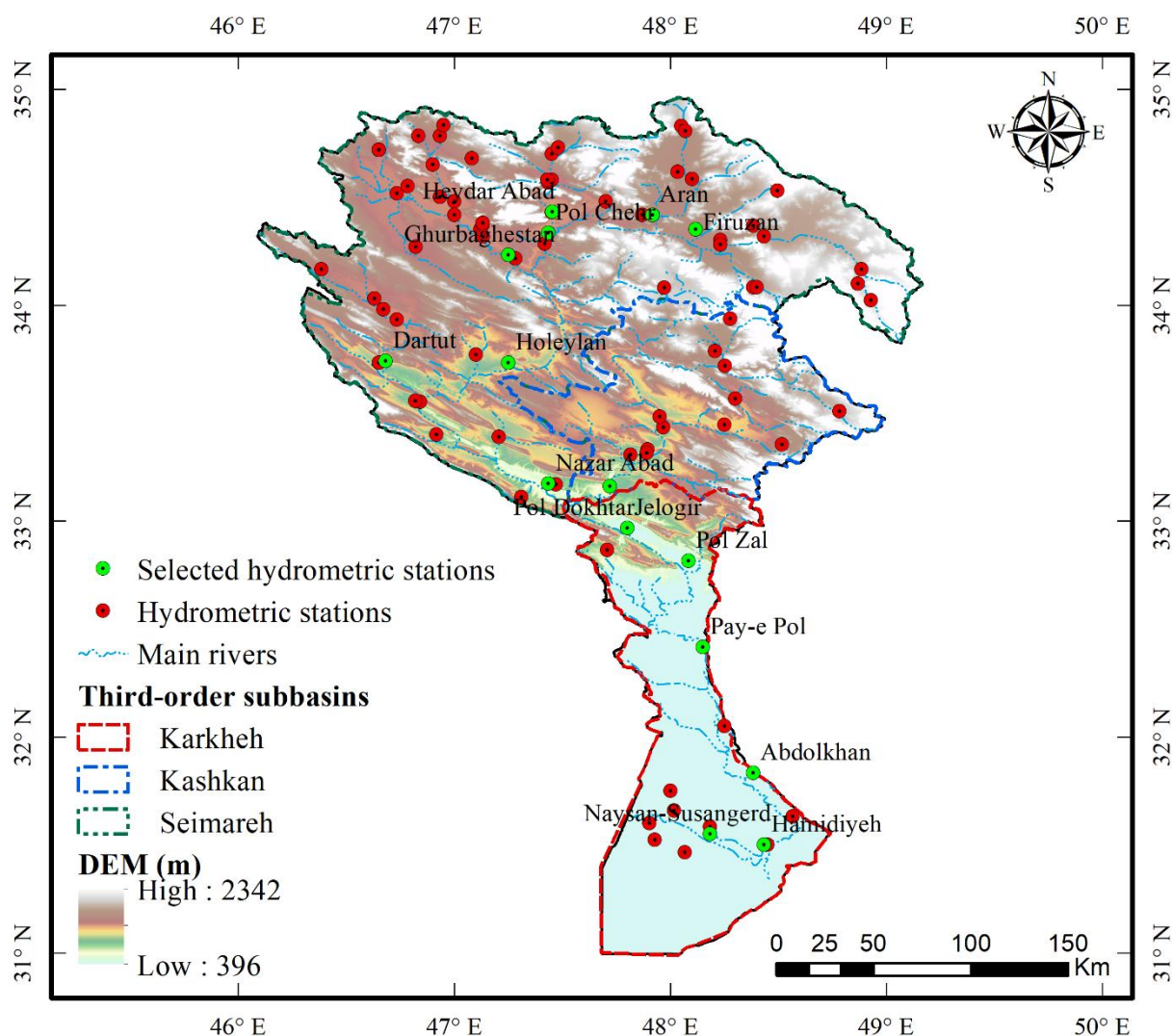


Fig. 1- The geographic location of the study area and the selected hydrometric stations

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه و ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب

با توجه به تعداد زیاد ایستگاه‌های هیدرومتری و قرارگیری بعضی از آن‌ها روی شاخه‌هایی از شبکه رودخانه که فرعی بوده و دبی پایین دارند، چند ایستگاه منتخب برای انجام سایر تحلیل‌های لازم در این پروژه برگزیده شدند. با توجه به اینکه میزان دبی در شاخه‌های فرعی بر میزان دبی رودخانه اصلی به طور مستقیم تأثیر می‌گذارد مبنای انتخاب ایستگاه در شاخه‌های فرعی، قابل توجه بودن میزان دبی آن و نزدیکی به رودخانه اصلی بوده است. تمام ایستگاه‌هایی که روی رودخانه اصلی قرار دارند به عنوان ایستگاه منتخب در نظر گرفته شده است. با توجه به معیار در نظر گرفته شده، ۱۵ ایستگاه هیدرومتری شامل ایستگاه آران واقع بر رودخانه خرم رود، ایستگاه پل چهر واقع بر رودخانه گاماسیاب، ایستگاه‌های هلیلان و نظرآباد واقع بر رودخانه سیمره، ایستگاه دارتوت واقع بر رودخانه چناره، ایستگاه پل دختر واقع

## ۲-۲- داده تحقیق

داده‌های تاریخی دبی روزانه و رخداد‌های سیلاب موجود در منطقه مطالعه از دفتر مطالعات پایه منابع آب شرکت مدیریت منابع آب ایران و کمیته ملی سدهای بزرگ کشور به ترتیب تا پایان سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ و تا انتهای اردیبهشت ۱۳۹۸ دریافت شدند. داده‌های روزانه مربوط به سدهای منطقه مطالعه از کمیته ملی سدهای بزرگ ایران دریافت شد که شامل حجم آب ورودی، حجم آب خروجی و حجم مخزن است. طبق اطلاعات دریافت شده، ۹۵ ایستگاه هیدرومتری در منطقه مطالعه وجود دارد، اما داده‌های تنها ۵۹ ایستگاه در دسترس است. این بدان معنی است که از کل ظرفیت ایستگاه‌های هیدرومتری موجود تنها ۶۲ درصد آن قابل بهره‌برداری است.

## ۲-۴- استخراج تغییرات کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه

طبق مطالعات پیشین، مهمترین الگوریتم‌های مورد استفاده برای طبقه‌بندی کاربری اراضی شامل ماشین‌های بردار پشتیبان، الگوریتم طبقه‌بندی و رگرسیون درخت تصمیم، الگوریتم درست‌نمایی بیشینه می‌باشند. با این وجود، نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که دقت الگوریتم جنگل تصادفی نسبت به سایر الگوریتم‌های مذکور بالاتر بوده است (Adam et al., 2014; Adugna et al., 2022; Akbari et al., 2020; Gislason et al., 2006; Li et al., 2020; Lu et al., 2020; Mekha and Teeyasuksaet, 2021; Na et al., 2010; Xu et al., 2018; Zafari et al., 2020). به همین دلیل در این مطالعه، از الگوریتم جنگل تصادفی استفاده شد. الگوریتم جنگل تصادفی یک روش یادگیری ترکیبی برای طبقه‌بندی است که متشکل از شمار مشخصی درخت تصمیم است. ایده کلی این الگوریتم ارجحیت پاسخ اکثریت چندین درخت تصمیم به پاسخ یک درخت تصمیم است. به عبارتی به جای آنکه یک درخت تصمیم، تعیین‌کننده پاسخ نهایی مسأله طبقه‌بندی باشد، مجموعه‌ای از درختان تصمیم مستقل (جنگل) مشخص‌کننده پاسخ مسأله باشند. فرآیند طبقه‌بندی در این الگوریتم به این صورت است که در آن داده‌های ورودی به طور جداگانه به هر درخت وارد می‌شوند و هر درخت به صورت جداگانه عملیات طبقه‌بندی را انجام می‌دهد و هر داده ورودی را در کلاس خاصی طبقه‌بندی می‌کند.

بر رودخانه کشکان، ایستگاه‌های جلوگیر، پای پل، عبدالخان و حمیدیه واقع بر رودخانه کرخه، ایستگاه پل زال واقع بر رودخانه آب زال، ایستگاه قورباغستان واقع بر رودخانه قره سو، ایستگاه فیروزان واقع بر رودخانه آب توپسرکان، ایستگاه نیسان-سوسنگرد واقع بر رودخانه کرخه نیسان و ایستگاه حیدرآباد واقع بر رودخانه دینور به عنوان ایستگاه‌های منتخب تعیین شده‌اند. اطلاعات این ایستگاه‌ها شامل موقعیت جغرافیایی، کد ایستگاه، سال تأسیس و درجه ایستگاه در جدول ۱ ارائه شده است. از ابتدای سال آبی ۱۳۷۳-۱۳۷۲ تا انتهای سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۵، داده‌های دبی در تمامی ایستگاه‌های منتخب به جز چهار ایستگاه‌های نظرآباد، فیروزان، قورباغستان و هلیلان به صورت کامل در دسترس بودند.

## ۲-۳- تعیین دوره بازگشت دبی سیلاب

به منظور تعیین دوره بازگشت سیلاب، حداکثر دبی لحظه‌ای در ایستگاه‌های منتخب در دوره بلندمدتشان تعیین شد و با تطبیق سری زمانی با توزیع‌های احتمالی لاگ پیرسون نوع ۳، لاگ نرمال، پیرسون، ویبول، گامبل، ویک بی و نرمال در نرم‌افزار EasyFit و تخمین پارامترها با استفاده از روش گشتاورها، تابع توزیع برتر بر اساس آزمون اندرسون-دارلینگ<sup>۱</sup> شناسایی و در نهایت دوره بازگشت متناظر با بزرگترین دبی لحظه‌ای رخ داده در فروردین ۱۳۹۸ در ایستگاه‌های دارای داده تعیین شد.

Table 1- Geographic and technical information of the selected hydrometric stations

جدول ۱- اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب

Station code	Station name	River name	Longitude	Latitude	Elevation (m)	Established year	Station class
21-109	Firuzan	Ab Tuysarkan	48.11667	34.35	1498	1333	2
21-113	Aran	Khoram Rud	47.91667	34.41667	1440	1333	1
21-127	Pol Chehr	Gamasiab	47.43333	34.33333	1306	1333	1
21-143	Ghurbaghestan	Qarah su	47.25	34.23333	1300	1332	1
21-147	Holeylan	Seimare	47.25	33.73333	900	1339	1
21-157	Dartut	Chenareh	46.68056	33.74139	1057	1348	1
21-183	Pol Dokhtar	Kashkan	47.71833	33.16194	650	1334	1
21-185	Jelogir	Karkheh	47.8	32.96667	350	1336	2
21-189	Pol Zal	Ab-e Zal	48.08333	32.81667	335	1351	2
21-191	Pay-e Pol	Karkheh	48.15	32.41667	90	1333	1
21-193	Abdolkhan	Karkheh	48.38333	31.83333	40	1344	1
21-199	Hamidiyeh	Karkheh	48.43333	31.5	20	1329	1
21-389	Heydar Abad	Dinoorab	47.45222	34.43111	1543	1358	1
21-411	Nazar Abad	Seimare	47.43417	33.1725	559	1349	1
21-489	Naysan-Susangerd	Karkheh Naysan	48.18333	31.55	13	1365	1

در نهایت پاسخ تمام درختان تصمیم در مورد داده ورودی مدنظر بررسی می‌شود و کلاسی که بیشترین رأی را از درخت‌ها گرفته است، به عنوان نتیجه پایانی الگوریتم استخراج می‌شود (Han et al., 2011).

### ۳- نتایج و تحلیل

#### ۳-۱- تحلیل سیل فروردین سال ۱۳۹۸ در زیرحوضه درجه دوم کرخه

شکل ۲ سری زمانی دبی روزانه در ایستگاه هیدرومتری جلوگیر (نزدیکترین ایستگاه در بالادست سد کرخه) از سال آبی ۱۳۳۶-۱۳۳۷ تا انتهای سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ را نشان می‌دهد. طبق این سری زمانی، تا پیش از فروردین ۱۳۹۸ بزرگترین سیلاب رودخانه کرخه در محل ایستگاه جلوگیر از لحاظ شدت برابر با ۴۶۹۰ مترمکعب بر ثانیه بوده که در سال ۱۳۶۱ رخ داده است. همچنین، میانگین دبی روزانه سیلاب مخرب سال ۱۳۹۵ در ایستگاه جلوگیر، برابر با ۱۶۷۷ مترمکعب بر ثانیه بوده است که شدت آن به مراتب کمتر از شدت سیلاب فروردین ۱۳۹۸ است. با توجه به داده‌های دبی لحظه‌ای سیلاب در ایستگاه هیدرومتری جلوگیر، بزرگترین دبی لحظه‌ای مشاهده شده در فروردین ۱۳۹۸ در این ایستگاه در ۱۲ فروردین ۱۳۹۸ با شدت ۶۹۰۴ مترمکعب بر ثانیه معادل با دوره بازگشت ۲۶۲ سال بوده است که به مراتب بزرگتر از دوره بازگشت سیلاب‌های تاریخی در منطقه مطالعه است.

#### ۳-۲- تأثیر رطوبت پیشین خاک در شدت سیلاب فروردین ۱۳۹۸

سری‌های زمانی رطوبت خاک مربوط به آن بخشی از زیرحوضه درجه سوم کرخه که در بالادست سد کرخه واقع است، در شکل ۳ نشان داده شده است. همانطور که انتظار می‌رود، سطح رطوبت در سطح خاک نسبت به ناحیه ریشه نواسانات بسیار بیشتری را نشان می‌دهد. با این وجود، روند تغییرات هر دو سری زمانی مطابق با یکدیگر است. از آنجا که رطوبت سطح خاک بسیار حساس به بارش ورودی است، در ادامه سری زمانی رطوبت خاک در ناحیه ریشه مبنای تحلیل‌های آتی قرار خواهد گرفت تا تأثیر رطوبت پیشین خاک برای اهداف این بخش به نحو مؤثرتری مطالعه گردد.

در این مطالعه، نقشه‌های کاربری اراضی زیرحوضه آبریز کرخه برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ میلادی با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای استخراج شدند. برای این منظور، از تصاویر سنجنده MODIS برای تشخیص بهتر شهرها و از تصاویر سایر ماهواره‌ها برای تشخیص اندازه کلاس‌ها استفاده شد. برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ از سنجنده MODIS و ماهواره Landsat 7، برای سال ۲۰۱۴ از سنجنده MODIS و ماهواره Landsat 8 و برای سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ از سنجنده MODIS و ماهواره‌های Landsat 8 و Sentinel-1 استفاده شدند. برای هر سال، تمامی تصاویر Landsat که دارای پوشش ابر کم‌تر از ۱۰ درصد هستند جمع‌آوری شد (با توجه به این که تصاویر پاییز تفکیک خوبی ندارند کنار گذاشته شدند) و میانگین آنها به عنوان یک تصویر واحد برای هر سال تولید شد. طبقه‌بندی تصاویر ماهواره با استفاده از شاخص‌های NDWI، NDVI، و Chlorophyll Index Green در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ انجام شد. همچنین، در سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ علاوه بر شاخص‌های فوق، از باند VV ماهواره Sentinel-1 استفاده شد. این ترکیب شاخص‌ها به همراه باندها به عنوان ورودی الگوریتم جنگل تصادفی برای انجام عملیات طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفتند (Han et al., 2011).

#### ۳-۵- تحلیل رطوبت پیشین خاک با استفاده از داده‌های حاصل از سنجش از دور ماهواره‌ای

در این بخش به مطالعه تأثیر رطوبت پیشین خاک در تشدید شدت سیل در منطقه مطالعه به کمک داده‌های حاصل از سنجش از دور ماهواره‌ای پرداخته شد. بدین منظور، سری زمانی رطوبت پیشین خاک در زیرحوضه درجه سوم کرخه از محصول سطح چهار سنجنده‌ی SMAP<sup>۴</sup> در محیط Google Earth Engine (GEE) استخراج شد که این داده‌ها از سال ۱۳۸۸ با تفکیک زمانی ۳ روزه و قدرت تفکیک مکانی ۹ کیلومتر در دسترس است (Reichle et al., 2017). SMAP رطوبت خاک را به صورت رطوبت سطح خاک و رطوبت خاک در ناحیه

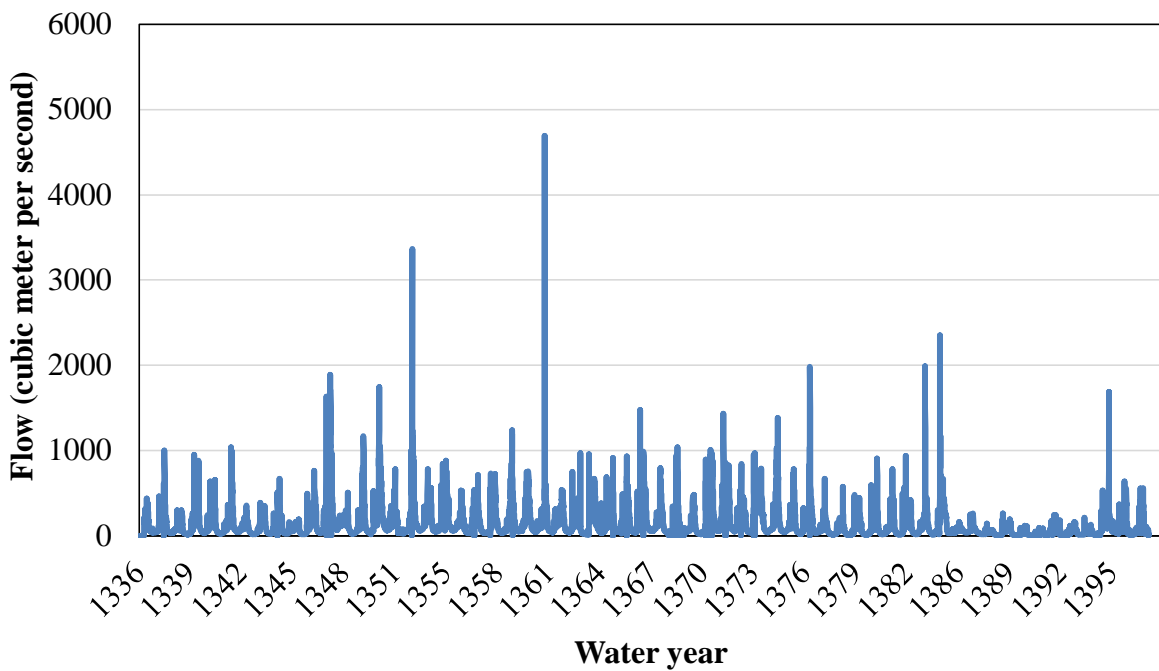


Fig. 2- The daily streamflow time series at the Jelogir station from 1336-1337 to 1396-1397  
 شکل ۲- سری زمانی دبی روزانه در ایستگاه جلوگیر از سال آبی ۱۳۳۶-۱۳۳۷ تا ۱۳۹۶-۱۳۹۷

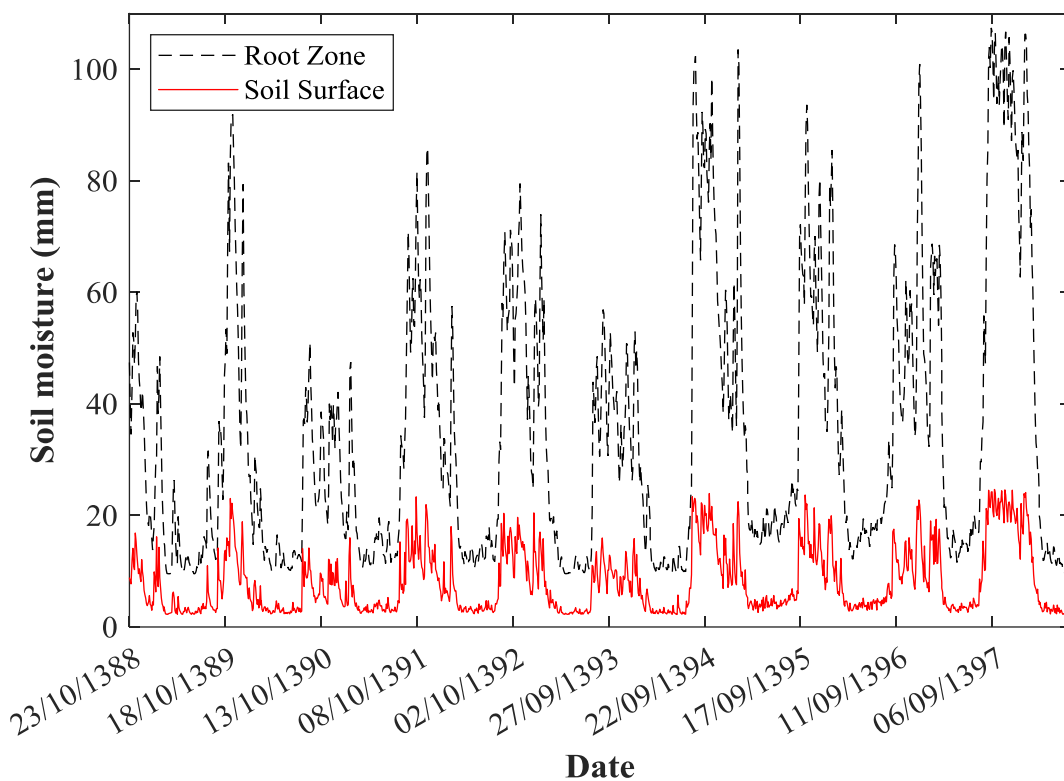


Fig. 3- The time series of soil moisture at the soil surface and root zone at the upstream of Karkheh dam  
 شکل ۳- سری زمانی رطوبت سطح خاک و رطوبت در ناحیهی ریشه در بالادست سد کرخه

جدول ۲ ارائه شده است. در اینجا خاطر نشان می‌گردد که برخی نقاط واقع شده روی مقادیر پایین رطوبت خاک متعلق به سیلاب‌های تیر و مرداد سال ۱۳۹۶ می‌باشند.

به منظور بررسی تأثیر رطوبت پیشین خاک در تسهیل تشکیل رواناب سطحی و تشدید سیلاب، رابطه بین دبی لحظه‌ای سیلاب بر حسب میانگین رطوبت پیشین خاک طی ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۱۲۰ روز قبل از وقوع ۶۲ رخداد سیل در شکل ۵ نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که بین داده رطوبت پیشین خاک و دبی لحظه‌ای سیلاب ضریب همبستگی بین ۰/۳۳ تا ۰/۴۱ برقرار بوده است که طبق طبقه‌بندی ارائه شده توسط تیلور در سال ۱۹۹۰ (Taylor, 1990)، این ضرایب در دسته ضعیف تا متوسط قرار می‌گیرد. به طور مشخص، تحلیل دقیق‌تر این سیل‌های منتخب حاکی از آن است که در رخداد سیل ۱۳/۱۳/۱۳۹۱ هم میزان رطوبت پیشین خاک و هم شدت بارش در روز وقوع سیلاب در سطح پایینی بوده و لذا شدت سیلاب هم پایین بوده است.

شکل ۴ سری زمانی رطوبت خاک در ناحیه ریشه به همراه سری زمانی میانگین بارش روزانه در ایستگاه‌های واقع در بالادست سد کرخه را نشان می‌دهد. شروع این سری زمانی تقریباً ده ساله از تاریخ ۱۳۸۸/۱۰/۲۳ (یعنی اولین تاریخ بعد از ارسال داده توسط SMAP) و پایان آن در ۱۳۹۸/۰۶/۲۹ (یعنی پایان سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸) است. طبق انتظار، بین سری زمانی بارش و رطوبت خاک همبستگی متوسطی با ضریب همبستگی ۰/۴۶ و  $p\text{-value} < 0.05$  مشاهده می‌شود. در سری زمانی رطوبت خاک، چند تاریخ مشخص علامت‌گذاری شده است که مربوط به وقوع سیلاب‌های ثبت شده در ایستگاه جلوگیری به عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه هیدرومتری ثبت شده در بالادست سد کرخه می‌باشند. این تاریخ‌ها با توجه به اطلاعات دبی سیلاب لحظه‌ای اخذ شده از وزارت نیرو مشخص شده‌اند. طبق این اطلاعات، در ایستگاه جلوگیری در بازه‌ی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸، ۲۵۶ روز سیلابی معادل ۶۲ واقعه سیل ثبت شده است. نقاط علامت‌گذاری شده (با دایره‌های مشکی) در شکل ۴ متعلق به زمان شروع سیلاب‌های ناشی از رویدادهای بارندگی مستقل در این بازه زمانی است که مشخصات آنها شامل دبی اوج لحظه‌ای، حجم و تداوم در

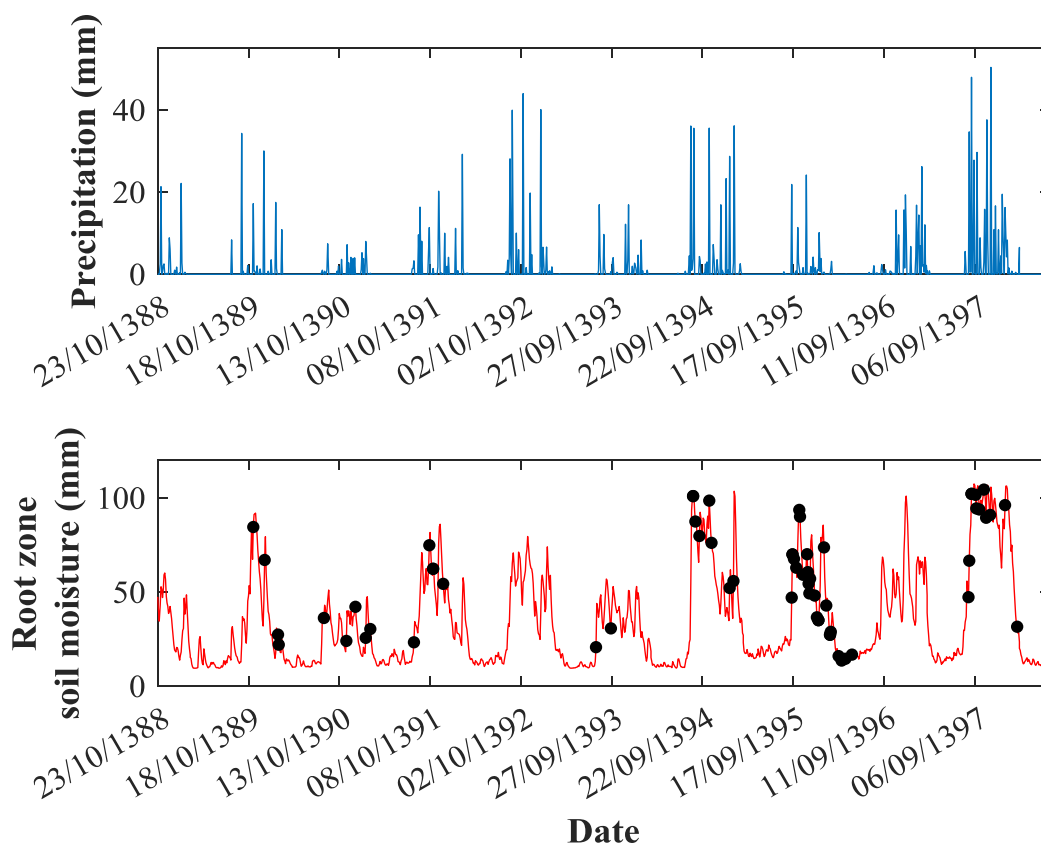


Fig. 4- The time series of precipitation and root zone soil moisture at the upstream of Karkheh dam  
شکل ۴- سری زمانی بارش و رطوبت خاک در ناحیه ریشه در ایستگاه‌های واقع در بالادست سد کرخه

**Table 2- The characteristics of the selected flood events including the discharge peak, volume and duration**  
**جدول ۲- مشخصات سیلاب‌های منتخب شامل اوج دبی لحظه‌ای، حجم و تداوم سیلاب**

Flood's start date	Discharge peak (m <sup>3</sup> /s)	Volume (MCM)	Duration (day)	Flood's start date	Discharge peak (m <sup>3</sup> /s)	Volume (MCM)	Duration (day)
1389/11/07	49	52.0	13	1395/10/26	238	36.6	3
1389/12/22	134	24.2	3	1395/11/01	228	32.7	3
1390/02/03	37.3	6.1	2	1395/11/08	165	36.5	3
1390/02/15	118	28.8	4	1395/11/12	189	28.3	3
1390/08/15	43	9.5	3	1395/11/16	170	19.2	2
1390/11/12	187	17.7	3	1395/11/25	199	71.9	6
1390/12/16	25	5.9	3	1395/12/02	152	17.8	2
1391/01/28	39.5	23.3	5	1395/12/07	158	17.3	2
1391/02/13	196	50.8	4	1395/12/20	170	60.9	7
1391/08/06	304	28.0	2	1395/12/28	220	281.6	9
1391/10/01	171	20.8	2	1396/01/17	425	107.3	3
1391/10/06	303	44.5	3	1396/01/27	403	88.9	3
1391/10/21	148	75.2	5	1396/02/01	232	71.4	3
1391/11/30	109	9.0	1	1396/02/11	321	45.6	2
1393/07/29	270	34.3	2	1396/02/14	325	106.1	3
1393/09/05	206	23.1	3	1396/03/08	139	10.3	2
1394/08/07	247	63.7	3	1396/03/17	85.3	9.5	2
1394/08/18	141	54.0	4	1396/04/02	129	8.9	2
1394/08/27	235	34.5	2	1396/05/08	76	2.5	1
1394/09/11	626	89.1	3	1397/08/05	480	37.4	3
1394/10/09	186	61.0	4	1397/08/13	148	28.2	3
1394/10/19	198	63.7	4	1397/08/17	151	27.8	5
1395/01/09	301	78.9	3	1397/08/25	674	92.1	3
1395/01/24	333	637.6	11	1397/09/03	1039	223.7	3
1395/09/05	97.9	33.6	5	1397/09/10	350	85.9	3
1395/09/11	81	51.5	3	1397/09/25	211	18.2	1
1395/09/16	192	19.5	2	1397/10/13	389	76.6	3
1395/09/21	142	44.6	5	1397/10/23	166	160.0	6
1395/09/30	169	12.6	1	1397/11/07	427	577.3	6
1395/10/05	144	24.0	3	1398/01/05	2631	3018.3	37
1395/10/12	229	31.8	2	1398/02/22	438	521.9	9

در رخداد سیل ۱۳۹۳/۰۷/۲۹ رطوبت پیشین خاک در سطح بسیار پایینی بوده، اما شدت بارش زیاد به احتمال قوی موجب تشکیل رواناب مازاد بر نفوذ و متعاقباً سیلاب شده است؛ هرچند شدت آن قابل ملاحظه و مخرب نبوده است. در رخداد سیل ۱۳۹۷/۰۸/۲۵ هم شدت بارش و هم رطوبت پیشین خاک در سطح بالاتری نسبت به مقادیر مشابه در رخداد سیل ۱۳۹۳/۰۷/۲۹ قرار داشته‌اند و بنابراین موجب تشکیل سریع رواناب و سیلابی با شدت تقریباً ۲/۵ برابر رخداد سیل

شده‌اند و نهایتاً در تاریخ‌های ۱۳۹۳/۰۷/۲۹ و ۱۳۹۷/۰۹/۰۳ و همچنین ۱۳۹۸/۰۱/۰۵ سطح بسیار بالای رطوبت پیشین خاک و همچنین شدت بارش دست به دست یکدیگر داده تا سیلاب‌های مخربی را رقم بزنند. بنابراین، علاوه بر تأثیر مستقیم سطح رطوبت پیشین خاک در افزایش شدت سیلاب (شکل ۵)، همزمانی شدت آن در مقایسه با شدت بارش عاملی تعیین کننده در میزان خسارت ناشی از وقوع سیلاب است.



### ۳-۳- نتایج تغییرات کاربری اراضی در زیرحوضه درجه دوم کرخه

روند تغییرات مساحت هر یک از کلاس‌های خاک، پهنه آبی، مناطق شهری و پوشش گیاهی از سطح کل حوضه در شکل ۶ نشان داده شده است. سطح نسبی اراضی شهری به دلیل رشد جمعیت از سال ۱۳۸۶ روند صعودی ناچیزی پیدا کرده، به طوری که در سال ۱۳۹۷، مساحت مناطق شهری ۰/۰۰۸ درصد نسبت به سال ۱۳۷۹ افزایش داشته است. سهم نسبی سطح کلاس خاک تقریباً از سال ۱۳۹۲ سیر نزولی را نشان می‌دهد و در سال ۱۳۹۷، ۸/۲۱ درصد نسبت به سال ۱۳۷۹ کاهش داشته است. برعکس، سطح کلاس‌های پهنه آبی (با ۱/۶۹ درصد افزایش نسبت به سال ۱۳۷۹) و پوشش گیاهی (با ۶/۵۱ درصد افزایش نسبت به سال ۱۳۷۹) از سال ۱۳۹۲ روندی صعودی داشته‌اند. مقایسه بین تغییرات میزان بارش و مساحت نسبی کلاس پهنه آبی در منطقه مطالعه از سال ۱۳۷۹ تا سال ۱۳۹۷ نشان‌دهنده همبستگی قوی بین آن‌ها است. پهنه‌های آبی موجود در منطقه شامل دریاچه پشت سد دو سد کرخه و سیمره و همچنین تالاب هورالعظیم می‌باشد. از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۹ کشور عراق با اجرای چند پروژه مهندسی، تالاب‌های بین‌النهرین را خشکاند به طوری که در سال ۱۳۸۱ حدود ۹۰ درصد این تالاب‌ها خشک شده بود. نتایج این مطالعه نیز نشان داد که تا سال ۱۳۸۲ تقریباً هیچ نقطه‌ای در محدوده تالاب هورالعظیم به عنوان آب شناسایی نشده است. از سال ۱۳۸۴ به بعد در برخی نقاط تالاب آب وجود داشته و این روند افزایشی تا سال ۱۳۹۷ وجود دارد. در سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۷ میزان مساحت پهنه آبی تالاب به اوج خود رسیده که سیل‌های به وقوع پیوسته در این سالها نیز می‌تواند کمکی به احیای تالاب کرده باشد. برای نمونه در سال آبی ۱۳۹۷ مساحت پهنه آبی تالاب به اوج خود رسیده است که ناشی از سیلاب‌های فروردین سال ۱۳۹۸ است. بنابراین، روند افزایشی مشاهده شده به دلیل افزایش مساحت پهنه آبی در تالاب هورالعظیم می‌باشد.

بررسی تغییرات میزان بارش و مساحت نسبی کلاس پوشش گیاهی نسبت به یکدیگر نشان‌دهنده همبستگی مثبت قوی بین آنها نیز است. مشاهدات بالا حاکی از آن است که افزایش منابع آب سطحی در دسترس منجر به رشد سطح زیر کشت کشاورزی در منطقه شده است که این مشاهده منطبق با کاهش سطح نسبی کلاس خاک نیز می‌باشد. به عنوان شاهدی دیگر، با توجه به اینکه حوضه کرخه در محدوده جنگل‌زدایی جنگل‌های زاگرس قرار دارد (Heidarlou et al., 2020) و نتایج این تحقیق حاکی از افزایش مساحت کلاس پوشش گیاهی بازه زمانی مطالعه است، این افزایش می‌بایست ناشی از افزایش مساحت زمین‌های کشاورزی بوده باشد.

در اینجا خاطر نشان می‌سازد که ضریب همبستگی متوسط تا ضعیف مشاهده شده بین شدت سیل و رطوبت پیشین خاک بدان معنا نبوده که رطوبت پیشین خاک بر تشدید دبی لحظه‌ای سیلاب تأثیری نداشته، بلکه حاکی از آن است که رابطه بین این دو متغیر غیرخطی بوده و عوامل دیگری بجز رطوبت پیشین خاک به طور همزمان بر شدت سیل مؤثر بوده‌اند. برقراری رابطه غیرخطی بین شدت سیل و رطوبت پیشین خاک پیشتر در مطالعات دیگری نیز نشان داده شده است. برای نمونه، مطالعه ساکازومی و همکاران رابطه غیرخطی بین حجم، دبی پیک و تداوم سیل با رطوبت پیشین خاک در حوضه آبریز رودخانه هوانگ برقرار کرد (Sakazume et al., 2015). همچنین، مطالعه دیگری در ۲۲۲ ایستگاه هیدرومتری در استرالیا نشان داده است که بین بارش، رطوبت پیشین خاک و دبی پیک سیلاب رابطه‌ای غیرخطی برقرار است (Wasko and Nathan, 2019). بنابراین، این نتایج نشان می‌دهد که رطوبت پیشین خاک تنها عامل تشدید سیلاب نبوده، بلکه عوامل دیگر از جمله شدت بارش و ذوب برف نیز نقش مهمی در تولید رواناب داشته‌اند که طبق مطالعه برتولا و همکاران در سطح قاره اروپا، سهم عوامل رطوبت خاک، ذوب برف و شدت بارش در تشدید شدت سیلاب در مناطق مختلف اروپا متفاوت بوده است (Bertola et al., 2021). بنابراین، از آنجایی که تعیین سهم هر یک از این عوامل در اهداف این مطالعه نبوده است، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی با استفاده از مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه کرخه مدنظر قرار داده شود. با توجه به اینکه داده‌های حاصل از ماهواره برای رطوبت پیشین خاک با تفکیک زمانی خوبی در دسترس است، اهمیت نتایج فوق در امکان پایش برخط رطوبت خاک و ادغام آن در مدل‌های پیش‌بینی سیلاب به منظور اعلام احتمال وقوع سیل و انجام اقدامات پیشگیری از خسارت ناشی از آن مانند تخلیه به هنگام سدهای منطقه است که البته این موضوع بسته به پیش‌بینی‌های انجام شونده از شدت بارندگی نیز دارد. در این باره مطالعات مختلفی نشان داده است که ادغام داده‌های رطوبت خاک ماهواره SMAP و دیگر پایگاه‌های داده دورسنجی رطوبت خاک در مدل‌های پیش‌بینی سیلاب به افزایش دقت و کاهش عدم قطعیت آنها کمک کرده است (Babaeian et al., 2019; Bangira et al., 2015; Kim et al., 2019; Penna et al., 2011). البته باید توجه داشت که وجود عدم قطعیت معرفتی (شناختی) و تصادفی در پدیده‌ها، داده‌ها (اعم از داده‌های ماهواره و زمینی) و مدل‌های هیدرولوژیکی، مسأله‌ای مهم است (Paté-Cornell, 1996) که باید در مدل‌های پیش‌بینی سیلاب مدنظر قرار داده شود.

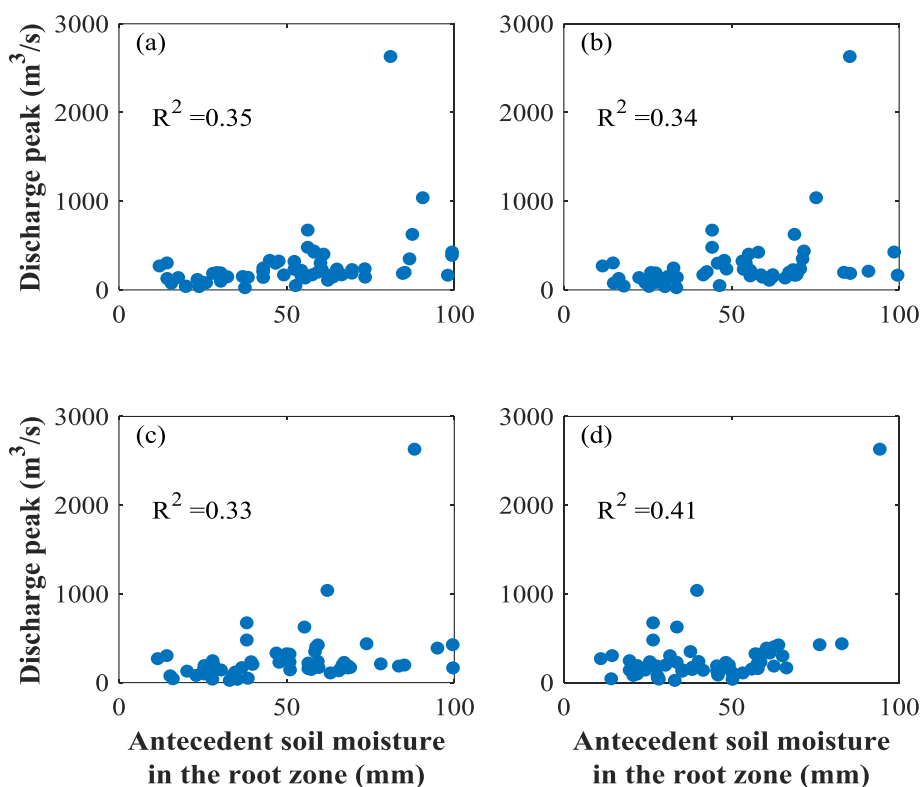


Fig. 5- The relationship between discharge peak and antecedent soil moisture in the root zone during (a) 30 days, (b) 45 days, (c) 60 days, and (d) 120 days before the selected flood events

شکل ۵- رابطه بین دبی لحظه‌ای سیلاب بر حسب میانگین رطوبت پیشین خاک طی (الف) ۳۰ روز، (ب) ۴۵ روز، (ج) ۶۰ روز، و (د) ۱۲۰ روز قبل از وقوع سیل‌های منتخب

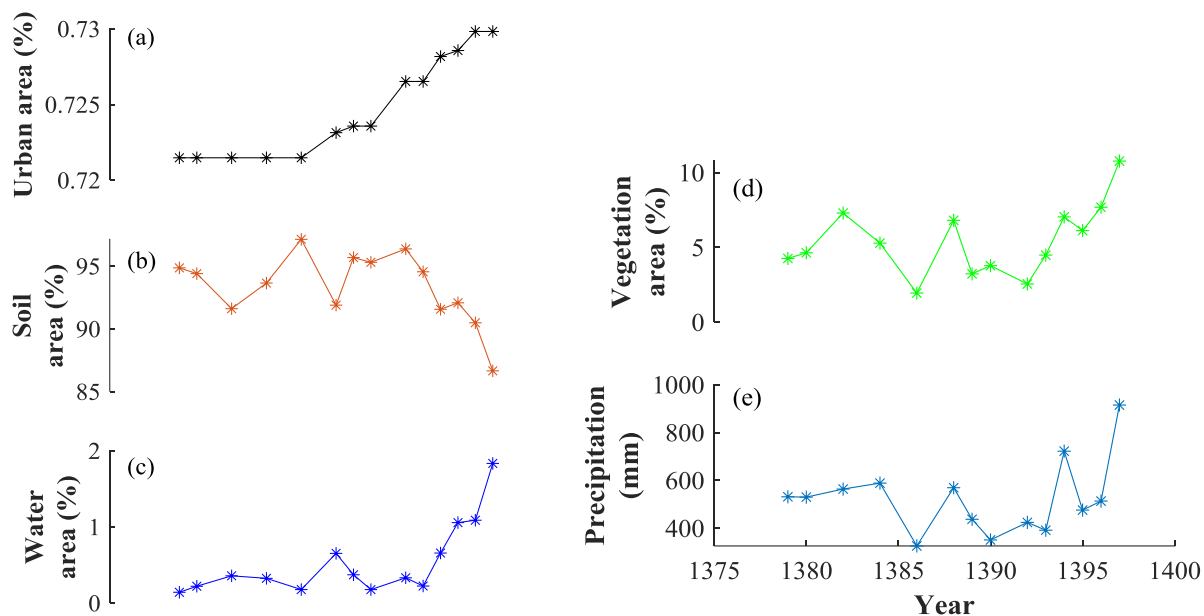


Fig. 6- The time series of the surface area of the (a) urban, (b) soil, (c) water, and (d) vegetation classes and (e) the time series of precipitation depth between 1379 and 1397

شکل ۶- سری زمانی مساحت کلاس‌های (الف) مناطق شهری، (ب) خاک، (ج) پهنه آبی، (د) پوشش گیاهی و (ه) سری زمانی میزان بارش طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷

آنچه در اینجا قابل توجه است، تأثیر متضاد جنگل‌زدایی و افزایش سطح زمین‌های کشاورزی بر آسیب‌پذیری در برابر سیل است. مطالعات پیشین نشان داده‌اند که تبدیل حتی نیمی از زمین‌های زراعی یک حوضه به پوشش گیاهی چند ساله (مانند درخت و درختچه) به کاهش آسیب‌پذیری در برابر سیل کمک شایانی می‌کند (Schilling et al., 2014). از طرفی، افزایش مساحت زمین‌های کشاورزی و به خصوص تبدیل جنگل‌ها به زمین‌های زراعی و به همراه آن ایجاد کانال و زهکش، بستر طبیعی زمین را تغییر می‌دهد، به طوری که منجر به تشدید خسارات ناشی از سیل می‌شود (Poff et al., 2006). با توجه به اینکه منطقه مطالعه هر دوی این تغییرات را تجربه کرده است، در اینجا نمی‌توان در خصوص افزایش یا کاهش آسیب‌پذیری ناشی از تغییر کاربری اراضی در حوضه کرخه نتیجه‌گیری نمود. بررسی این روند، نیازمند انجام مدل‌سازی هیدرولوژیکی با در نظر گرفتن انواع سناریوهای تغییر کاربری اراضی است که خارج از اهداف تحقیق حاضر بوده است.

به طور کلی با توجه به نتایج مطالعات مختلف، دو عامل را می‌توان از دلایل عمده عدم تأثیر قابل توجه کاربری اراضی در تشدید سیلاب‌های فروردین ۱۳۹۸ در حوضه کرخه نام برد: (۱) تأثیر ضعیف تغییر کاربری زمین بر شدت سیل در حوضه‌های آبریز بزرگ مقیاس مانند کرخه، با توجه به نوع مکانیزم غالب تولید رواناب سطحی در اینگونه حوضه‌ها، و (۲) غالب بودن تأثیر شدت و مدت زمان بارش بر شدت سیل نسبت به تأثیر تغییر کاربری زمین. در ادامه، دلایل فیزیکی مرتبط با این دو استدلال مفهومی، به همراه نمونه‌های از مطالعات پیشین مؤید آنها، آورده شده است. در مقیاس پابلوت، مطالعات پیشین ارتباط بین تغییرات شدت تولید رواناب سطحی با تغییر کاربری زمین (مانند توسعه شهری، جنگل‌زدایی (Beschta et al., 2000; Jones and Grant, 1996)، توسعه کشاورزی (Keller et al., 2019) و توسعه سیستم‌های زهکشی آب و انتقال فاضلاب (Miller and Hutchins, 2017) را به خوبی تبیین کرده‌اند. اما در مقیاس حوضه آبریز، اثرات تغییر کاربری زمین بر شدت سیل به دلیل تأثیر تعداد زیادی از فرآیندهای دخیل در تولید رواناب و همچنین عدم توانایی در تعیین توزیع مکانی دقیق متغیرهای مربوطه در سطح حوضه بسیار پیچیده است (Blöschl, 2022; Hess et al., 2010; Rogger et al., 2017). با این حال، نتایج مطالعات پیشین حاکی از تأثیر حداقل دو عامل مهم در کنترل ارتباط بین تغییر کاربری زمین و شدت سیل در مقیاس حوضه آبریز است: (۱) اندازه حوضه، و (۲) شدت بارش.

در حوضه‌های آبریز کوچک چند هکتاری، واکنش سیل به یک رویداد بارش، سریع و در حد چند دقیقه است. این زمان واکنش در واقع مدت زمانی است که طول می‌کشد تا قطرات باران یا جریان آبی که از داخل خاک به سطح زمین می‌رسد، به نقطه خروجی حوضه برسد. این زمان به دلیل طول کم جریان در حوضه‌های آبریز کوچک، زمان کمی است. حال با در نظر گرفتن اثر مقیاس حوضه (تحت ثابت ماندن سایر شرایط فیزیکی)، بزرگترین سیلاب‌ها توسط رویدادهای بارشی ایجاد می‌شوند که مدت زمان آنها مشابه زمان پاسخ‌دهی حوضه است (Viglione and Blöschl, 2009). بنابراین، در حوضه‌های آبریز کوچک، این رویدادهای بارش کوتاه‌مدت هستند که بزرگترین سیلاب‌ها را ایجاد می‌کنند. در واقع، در رویدادهای بارش کوتاه و با شدت بالا، جریان سطحی مازاد بر نفوذ خاک به عنوان مکانیزم اصلی تولید رواناب شناخته می‌شود که تحت آن، خاک از بالا شروع به اشباع شدن می‌کند. بدیهی است که در این حالت، رواناب سطحی در صورتی ایجاد می‌شود که شدت بارندگی (که زیاد است) از ظرفیت نفوذ بیشتر باشد. از آنجایی که ظرفیت نفوذ اساساً توسط نفوذپذیری خاک تعیین می‌شود، رواناب سطحی تولید شده به شدت به کاربری زمین بستگی دارد. بنابراین، در حوضه‌های آبریز کوچک مقیاس، شدت سیلاب می‌تواند به تغییر کاربری زمین بسیار حساس باشد.

در حوضه‌های آبریز بزرگ مقیاس (از چند تا هزاران کیلومتر مربع) وضعیت متفاوت است. واکنش سیل به یک رویداد بارش به دلیل فواصل جریان طولانی‌تر، در حد چند ساعت یا روز طول می‌کشد (Gaál et al., 2012) و در نتیجه رویدادهای بارش با شدت کمتر و طولانی‌تر، شرایط بحرانی‌تری را ایجاد می‌کنند (Blöschl et al., 2013). در شرایط وقوع این رویدادها، مکانیزم غالب تولید رواناب، جریان سطحی حاصل از اشباع خاک است؛ یعنی مکانیزمی که در آن خاک از پایین شروع به اشباع شدن می‌کند، تا اینکه جبهه مرطوب خاک از یک لایه نفوذناپذیر در زیر زمین به سطح زمین برسد. از آنجایی که عمق لایه نفوذناپذیر به ندرت توسط کاربری زمین تأثیر می‌پذیرد، رواناب سطحی تولید شده بستگی بسیار کمی به کاربری زمین دارد. بنابراین، می‌توان انتظار داشت که در حوضه‌های بزرگ مقیاس، شدت رواناب نسبت به تغییر کاربری زمین حساس نباشد.

نمونه‌ای از استدلال‌های مفهومی بالا در نتایج مطالعه Blöschl et al. (2018) مشاهده می‌شود که در آن با استفاده از مدل‌سازی بارش-رواناب توزیعی، به بررسی اثر جنگل‌کاری بر شدت سیلاب در یک حوضه آبریز ۹۷۰۰ کیلومتر مربعی در اتریش پرداخته شده است. نتایج این مطالعه حاکی از آن است که علی‌رغم افزایش ۱۰۰ هزار هکتاری

زمین‌های جنگل کاری شده، میزان اوج سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله تنها ۴ درصد کاهش یافته است. دلیل این مشاهده، تأثیر کم تغییر کاربری زمین بر میزان تولید رواناب است، چراکه با توجه به بزرگ بودن حوضه آبریز، تولید رواناب عمدتاً تحت مکانیزم جریان سطحی حاصل از اشباع خاک بوده است.

در زمینه تأثیر شدت بارش بر میزان تأثیرپذیری شدت سیل از کاربری زمین، نتایج مدل‌سازی بارش-رواناب در یک حوضه آبریز با مساحت ۶۲۲ کیلومتر مربع نشان داده است که جنگل کاری رواناب سطحی را کاهش می‌دهد، اما تأثیر آن به بزرگی رویداد بارش نیز بستگی دارد. در شرایط کوچکترین رویدادهای بارش، کاهش اوج رواناب سطحی حدود ۷۵ درصد بوده است، در حالی که این کاهش برای بزرگترین رویدادهای بارش شبیه‌سازی شده نزدیک به صفر بوده است. دلیل این مشاهده آن است که در رویدادهای بارش شدید، خاک در طی رویداد اشباع می‌شود و بنابراین، ساختار خاک دیگر اهمیتی در کنترل تولید رواناب ندارد. این مشاهده مهم، یعنی کاهش اثر تغییر کاربری زمین با بزرگی رویداد بارش، توسط سایر آزمایشات تجربی متعدد در مقیاس پایلوت و همچنین مدل‌سازی‌های بارش-رواناب در مقیاس حوضه نیز نشان داده شده است و بنابراین به نظر می‌رسد که یک مشاهده جهان شمول باشد (Rogger et al., 2017). بنابراین، با توجه به نتایج کمی تغییرات سطح کلاس‌های خاک و پوشش گیاهی در منطقه مطالعه طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷ و دلایل فوق، تغییر کاربری اراضی را نمی‌توان به عنوان عاملی قوی برای تشدید سیلاب فروردین ۱۳۹۸ در حوضه آبریز کرخه در نظر گرفت.

### ۳-۴- بررسی و تحلیل تاریخچه منحنی فرمان سدهای کرخه و دز قبل از وقوع سیلاب‌های شدید

بهره‌برداری صحیح از سد کرخه، به عنوان یکی از سدهای مهم و بزرگ منطقه مطالعه، تأثیر مستقیم و قابل توجهی بر پیش‌گیری از خسارت سیل در مناطق پایین‌دست دارد. به منظور مقایسه دقیق‌تر وضعیت منحنی فرمان سد کرخه در زمان وقوع سیلاب‌های فروردین ۱۳۹۸، منحنی فرمان سد دز در حوضه کارون بزرگ نیز بررسی شده است. به عبارت دیگر، با تحلیل سابقه منحنی‌های فرمان این دو سد از سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ تا ۹۷-۱۳۹۶ و مقایسه آن با منحنی‌های فرمان سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ که سیل خوزستان رخ داد، سهم مدیریت این سدها در سیل پایین‌دست بررسی می‌شود. شکل ۷ و شکل ۸ سابقه منحنی فرمان سد کرخه را همراه با حجم ذخیره شده و حجم آب ورودی به سد در مقیاس روزانه به ترتیب در سال‌های آبی ۹۵-۱۳۹۴ تا ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ نشان می‌دهد. علاوه بر این، سری زمانی

روزانه درصد پرشدگی این سد به تفکیک هر چهار سال آبی در شکل ۹ نشان داده شده است. حجم کل مخزن سد کرخه در حداکثر تراز آب مخزن برابر با ۵۳۰۰ میلیون مترمکعب است که با خط چین قرمز نمایش داده شده است. به واسطه بزرگترین سیلاب رخ داده در سه سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ تا ۹۷-۱۳۹۶، در بازه زمانی ۲۵ فروردین ۱۳۹۵ تا ۲۸ فروردین ۱۳۹۵، در مجموع حجم آبی معادل ۶۶۲ میلیون مترمکعب در چهار روز وارد سد کرخه شده که سد به خوبی این سیلاب را کنترل کرده و آب خروجی سد تغییرات ناگهانی را تجربه نکرده است. قبل از ورود سیلاب، حجم آب ذخیره شده در سد برابر با ۳۰۶۸ میلیون مترمکعب (معادل ۵۸ درصد پرشدگی سد) بوده که پس از چهار روز با در نظر گرفتن خروج آب، این مقدار به ۳۷۰۲ میلیون مترمکعب افزایش پیدا کرده است که منجر به پر شدن ۶۹ درصد حجم سد شده است. در سال‌های آبی بعدی نیز چندین سیلاب دیگر رخ داده است، اما شدت آنها بسیار کمتر بوده و میزان پرشدگی سد زیر ۸۰ درصد بوده است. در ابتدای سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ حجم ذخیره شده برابر با ۲۵۹۹ میلیون مترمکعب بوده که معادل ۴۹ درصد حجم کل مخزن است. در بازه آبان تا بهمن این سال، حدود ۱۰ پیک در سری زمانی جریان ورودی به سد دیده می‌شود که حجم آب ذخیره شده در سد را به ۴۲۹۰ میلیون مترمکعب رسانده که معادل ۸۱ درصد کل حجم بوده است. همچنین، در این بازه زمانی آب رها شده از سد افزایش قابل توجهی را نشان نمی‌دهد. از نیمه دی ۹۸ که حدود ۶۵ درصد مخزن پر بوده، آب رها شده از مخزن روند افزایشی پیدا کرده است، اما با توجه به روند افزایش حجم ورودی‌ها در دی و بهمن نسبت به ماه‌های قبلی، این رهاسازی‌ها در کاهش حجم ذخیره کمک شایانی نکرده است. در بازه ۹ بهمن ۱۳۹۷ تا ۶ فروردین ۱۳۹۸ آب ورودی به سد به جز یک پیک کوچک که حجم ذخیره را به ۹۰ درصد پرشدگی رسانده، تقریباً از روند ثابتی برخوردار بوده و با همان نرخ از سد رها شده است تا حجم ذخیره افزایش پیدا نکند. در تاریخ ۶ فروردین پیک اول بعد از حدود دو ماه رخ داده است و حجم آبی معادل ۲۷۵ میلیون مترمکعب در یک روز وارد سد شده است که حجم ذخیره را به میزان ۵۰۵۹ میلیون مترمکعب معادل (۹۶ درصد پرشدگی) رسانده است. این سیل تقریباً کنترل شده است، اما به فاصله ۵ روز در ۱۱ فروردین، سد با ورود پیک بعدی معادل ۱۰۸ میلیون مترمکعب به ۱۰۰ درصد پرشدگی (نسبت به حداکثر تراز کنترل سیلاب) رسیده و توانی برای کنترل کامل سیلاب روز بعد (۱۲ فروردین) را که معادل ۵۱۱ میلیون مترمکعب بوده نداشته و از ظرفیت نگهداری سیل (معادل ارتفاع آب ۲۲۰ متر) عبور کرده است، به طوری که به تراز ۱۰۸ درصد پرشدگی رسیده است. در روز ۱۴ فروردین سیلاب بعدی با حجم ۴۳۴ میلیون مترمکعب وارد سد شده که تراز پرشدگی را به ۱۱۳ درصد رسانده است. این وضعیت باعث رهاسازی

نگهداری بوده و تا حداقل ۲۲ فروردین، حجم زیاد آب رها شده از سد منجر به خسارت به پایین دست شده است که طبق شواهد میدانی تا محدوده شهر حمیدیه مشاهده شده است.

اولین حجم بیش از ۱۰۰ میلیون مترمکعب در یک روز شده است، به طوری که در ۱۴ فروردین ۱۴۴ میلیون مترمکعب از سد رها شده است. این وضعیت در روزهای بعدی نیز ادامه داشته است، به طوری که با وجود روند کاهش در آب ورودی، تراز پرشدگی سد بیش از ظرفیت

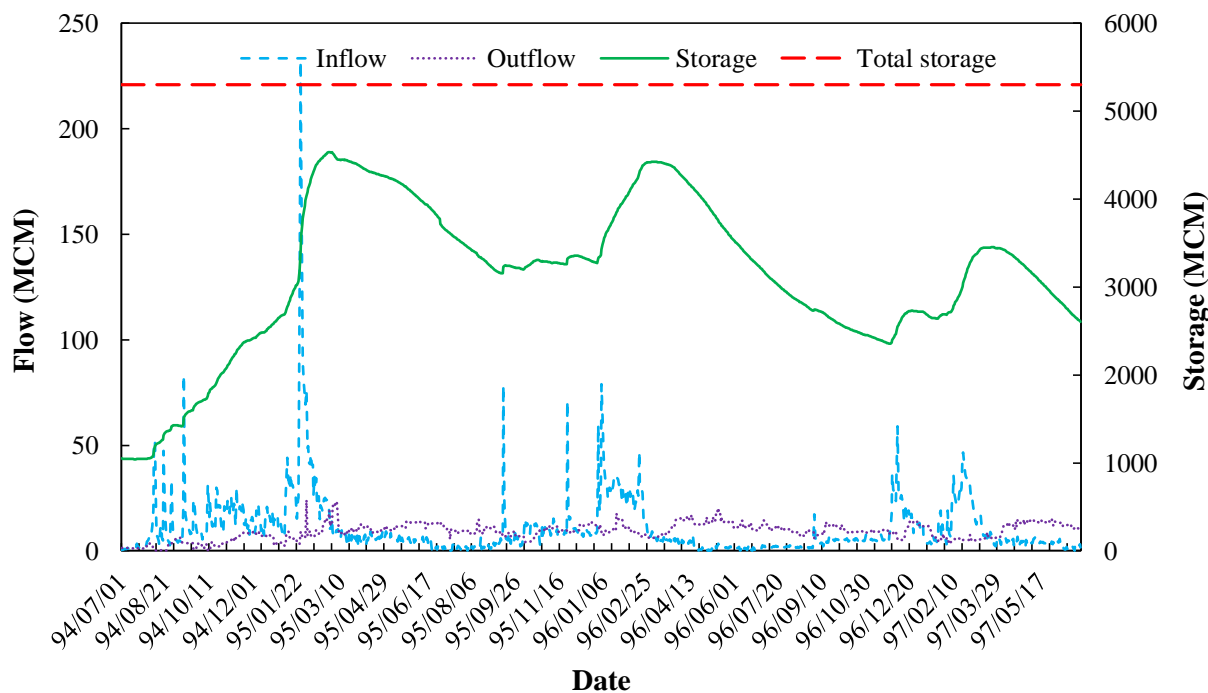


Fig. 7- The rule curve, storage, and inflow of the Karkheh dam between 1394-95 and 1396-97  
 شکل ۷- منحنی فرمان سد کرخه از سال آبی ۱۳۹۴-۹۵ تا ۱۳۹۶-۹۷ به همراه حجم آب ذخیره شده و حجم آب ورودی به

سد

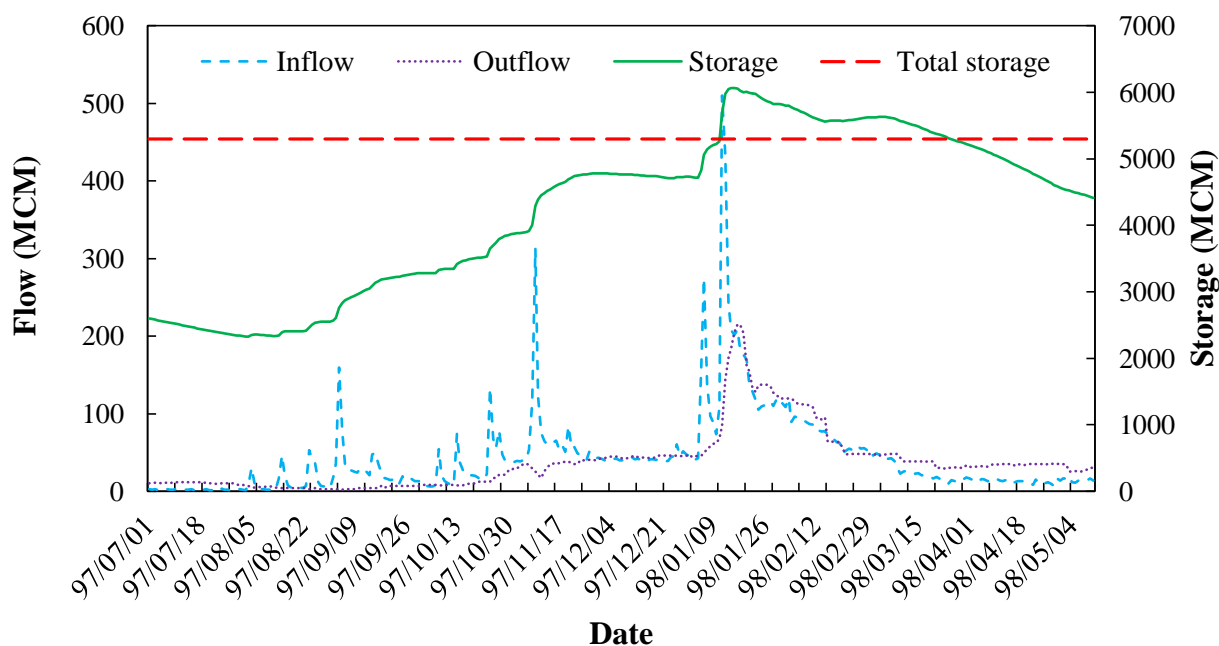


Fig. 8- The rule curve, storage, and inflow of the Karkheh dam in the 1397-98 water year  
 شکل ۸- منحنی فرمان سد کرخه در سال آبی ۱۳۹۷-۹۸ به همراه حجم آب ذخیره شده و حجم آب ورودی به سد

شکل ۹ نشان می‌دهد که سد کرخه در ابتدای سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ نسبت به زمان مشابه در ابتدای سال‌های ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ از ذخیره کمتری برخوردار بوده است، اما با وجود سیلاب‌های رخ داده در آبان ماه، حجم ذخیره در نیمه دوم آذر از ۳ سال آبی قبل بیشتر شده است. در سال ۹۵-۱۳۹۴ که بزرگترین سیل رخ داده را در بازه زمانی سال‌های ۹۷-۱۳۹۴ شاهد بوده است، ذخیره سد تنها ۲۰ درصد حجم مخزن بوده که به راحتی سیل چهار روزه را کنترل کرده است، اما در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ بیشترین پیک (۵۱۱ میلیون مترمکعب) دو برابر بیشترین پیک (۲۳۲ میلیون مترمکعب) سال ۹۴ بوده است که با توجه به ۹۶ درصد پرشدگی، امکان کنترل این سیل وجود نداشته است.

شکل ۱۰ و شکل ۱۱ سابقه منحنی فرمان سد دز را همراه با حجم ذخیره شده در آن و سری زمانی حجم آب ورودی به سد در مقیاس روزانه به ترتیب در سه سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ تا ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ نشان می‌دهد. حجم کل مخزن سد دز در حداکثر تراز آب مخزن برای کنترل سیلاب برابر با ۲۶۹۸ میلیون مترمکعب است که با خط چین قرمز نمایش داده شده است. بزرگترین سیلاب رخ داده در سه سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ تا ۹۷-۱۳۹۶، در بازه زمانی ۲۵ فروردین ۱۳۹۵ تا ۲۹ فروردین ۱۳۹۵ در مجموع حجم آبی معادل ۹۳۱/۵۵ میلیون مترمکعب در پنج روز وارد سد دز شده و بزرگترین دبی در ۲۶ فروردین با مقدار ۳۸۰ میلیون متر مکعب رخ داده است. قبل از این سیلاب شدید، در بازه آبان تا فروردین تقریباً ۸ پیک خفیف مشاهده شده است که ۹۰ درصد مخزن را پر کرده و در نتیجه در پی این سیلاب پنج روزه، حجم آب ذخیره از میزان ۲۴۱۱ میلیون مترمکعب به مقدار ۲۶۹۱ میلیون متر مکعب رسیده و سد به طور کامل پر شده است. در این پنج روز دبی خروجی آب بجز روز اول تقریباً با دبی ورودی برابر بوده، به عبارتی رهاسازی از سد که احتمالاً به دلیل جلوگیری از پرشدگی ۱۰۰ درصد آن بوده باعث سیلاب شدید در پایین دست سد شده و با این حال در روز پنجم سد به ۱۰۰ درصد پرشدگی رسیده است. پس از آن میزان رهاسازی تقریباً برابر با میزان ورودی بوده که امکان ایجاد ظرفیت برای دفع سیلاب‌های بعدی را ایجاد کند. البته با وجود کاهش ۴ درصدی حجم ذخیره تا مدت اندکی که ناشی از افزایش رهاسازی بوده، پس از کاهش رهاسازی‌ها، دوباره سد در مدت کوتاهی کاملاً پر شده و تا ۲۶ خرداد در این وضعیت باقی مانده است. البته به دلیل عدم وقوع سیل، مشکلی برای مدیریت سد و پایین دست ایجاد نشده است. در سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ از آبان تا آخر دی، هفت پیک در بالا دست سد رخ داده که در پی آن‌ها ۸۶ درصد مخزن پر شده است. اما با توجه به تجربه‌ای که در سال ۹۴ کسب شده بود، با افزایش رهاسازی‌ها سعی در افزایش ظرفیت کنترل سیلاب بوده است، به طوری که از

حجم ذخیره تا رخداد شدید بعدی که ۹ روز بعد اتفاق افتاده است، ۱۲ درصد کاسته شده است. در پی سیل ۹ بهمن که سد آن را کنترل کرده است، دوباره ۸۶ درصد مخزن دوباره پر شده است. پس از آن با افزایش رهاسازی‌ها تا نیمه اسفند ۲۸ درصد ظرفیت برای کنترل سیلاب‌های بهاره ایجاد شده است. در فروردین ماه سد با ورود دو پیک اصلی مواجه شده است. به دلیل مدیریت مخزن در ماه قبل، پیک اول که در ۵ تا ۷ فروردین رخ داده، به راحتی کنترل شده و تراز پرشدگی سد به ۹۵ درصد افزایش پیدا کرده است. اما پیک دوم با فاصله بسیار کمی پنج روز بعد رخ داده و در این فاصله حجم ورودی کاهش قابل توجهی نداشته است و همین موضوع باعث پر شدن ۹۸ درصدی سد شده است. اما در همین زمان برای جلوگیری از پر شدن ۱۰۰ درصدی و کاهش حجم ذخیره سد، رهاسازی‌ها افزایش پیدا کرده، به طوری که از ۸ تا ۲۵ فروردین، پایین دست سد با ورود روزانه حجم آبی بین ۱۰۰ تا ۲۸۰ میلیون مترمکعب مواجه بوده است. در شکل ۱۲ مقایسه سری زمانی درصد پرشدگی سد دز در چهار سال آبی مذکور نمایش داده شده است. این نمودار نشان می‌دهد که سد دز در ابتدای سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ نسبت به سال‌های ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ از ذخیره کمتری برخوردار بوده است. اما با وجود سیلاب‌های رخ داده شده در آبان ماه ۱۳۹۷، حجم ذخیره در اوایل آذر از مقدار آن در زمان مشابه در ۳ سال آبی قبل بیشتر بوده است. از طرف دیگر، علی‌رغم اینکه سیل رخ داده در سال ۱۳۹۸ از شدت تقریباً برابر و حتی کمتری نسبت به سال ۱۳۹۵ برخوردار بوده، از آنجایی که دو سیل با شدت تقریباً برابر در فاصله کمتر از یک هفته رخ داده است، فرصتی برای کاهش حجم ذخیره و کنترل پیک دوم با وجود ۹۶ درصد پرشدگی وجود نداشته است.

نتایج بالا نشان می‌دهد که عوامل مختلفی در مدیریت مخزن برای جلوگیری از خسارات سیلاب تأثیرگذار است. به طور کلی، نحوه بهره‌برداری از سد دز در فروردین ۱۳۹۸ نسبت به نحوه بهره‌برداری از سد کرخه تأثیر بسیار مؤثرتری روی کنترل سیلاب داشته است. البته باید توجه داشت که پیک دومی که سد کرخه با آن روبرو شد بسیار بیشتر از سد دز بوده است؛ با این حال، قبل از این پیک، سد تقریباً به طور کامل پر بوده و حتی اگر پیک دوم بسیار کمتر هم می‌بود، ظرفیتی برای کنترل سیلاب وجود نداشت. همچنین، فاصله رخدادهای بارش در چگونگی بهره‌برداری از سد بسیار تأثیرگذار است که می‌بایست در برنامه‌ریزی و مدیریت بهره‌برداری از سد مورد توجه قرار گیرد. نکته دوم حاصل از نتایج، ضرورت وجود پیش‌بینی‌های درست از حجم سیلاب است. این نتایج نشان می‌دهد که حتی اگر تنها هشدارهای بارش شدید به اطلاع بهره‌برداران از سد برسد، در برخی شرایط این

اطلاعات کافی نخواهند بود و سایر اطلاعات همچون میزان آوردهای ورودی به سد و فواصل زمانی بین آنها در مدیریت بهره‌برداری از سد بسیار حیاتی خواهد بود.

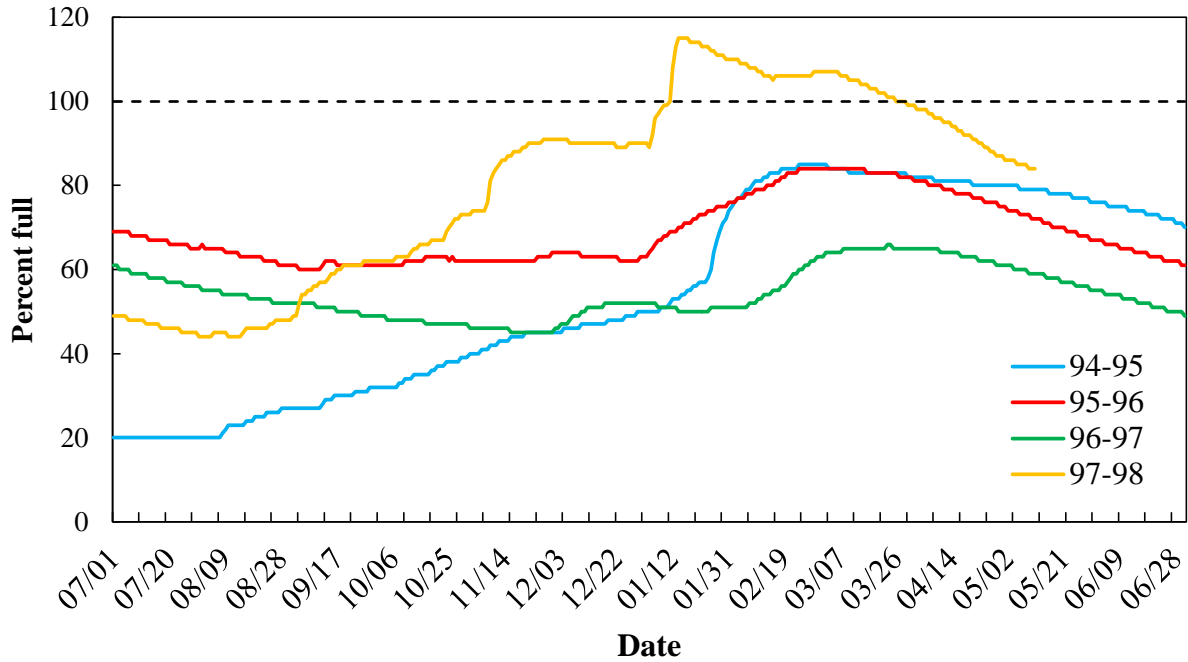


Fig. 9- Percent full of the Karkheh dam in the water years between 1394-95 and 1397-98  
 شکل ۹- مقایسه درصد پر بودن سد کرخه در سال‌های آبی ۱۳۹۴-۹۵ تا ۱۳۹۷-۹۸

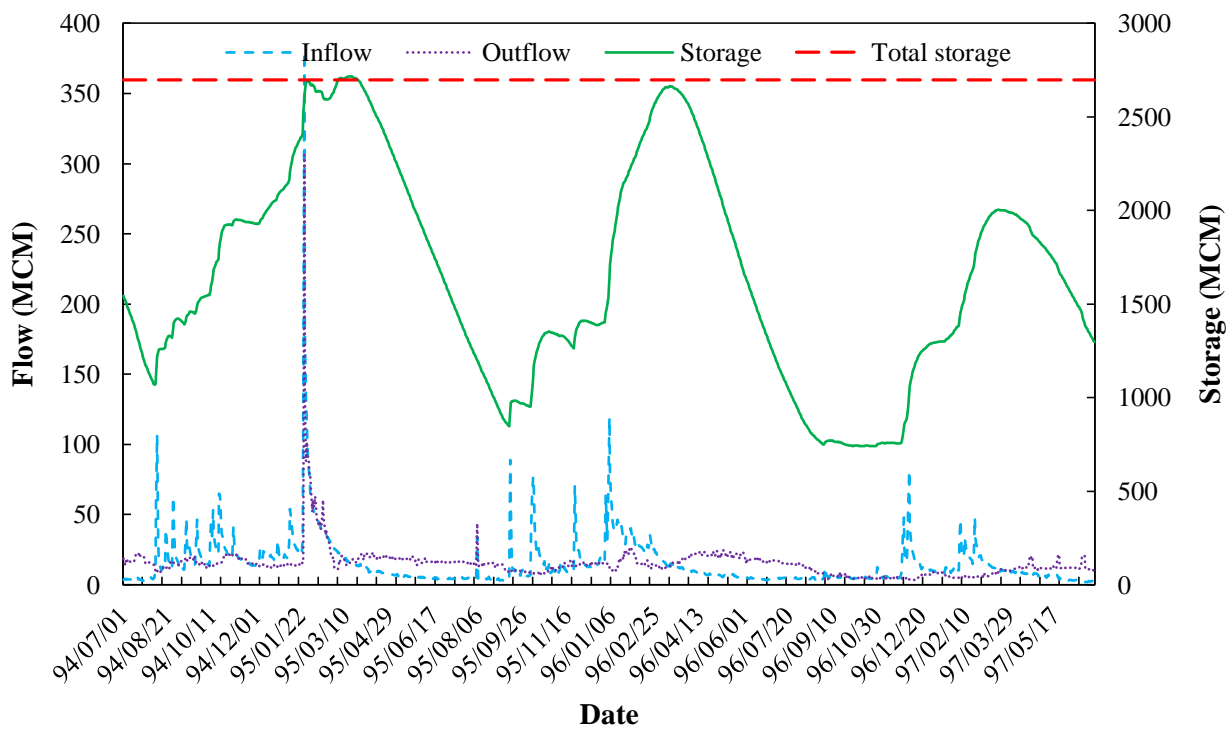


Fig. 10- The rule curve, storage, and inflow of the Dez dam between 1394-95 and 1396-97  
 شکل ۱۰- سابقه منحنی فرمان سد دز از سال آبی ۱۳۹۴-۹۵ تا ۱۳۹۶-۹۷ و حجم آب ذخیره شده و حجم آب ورودی به سد

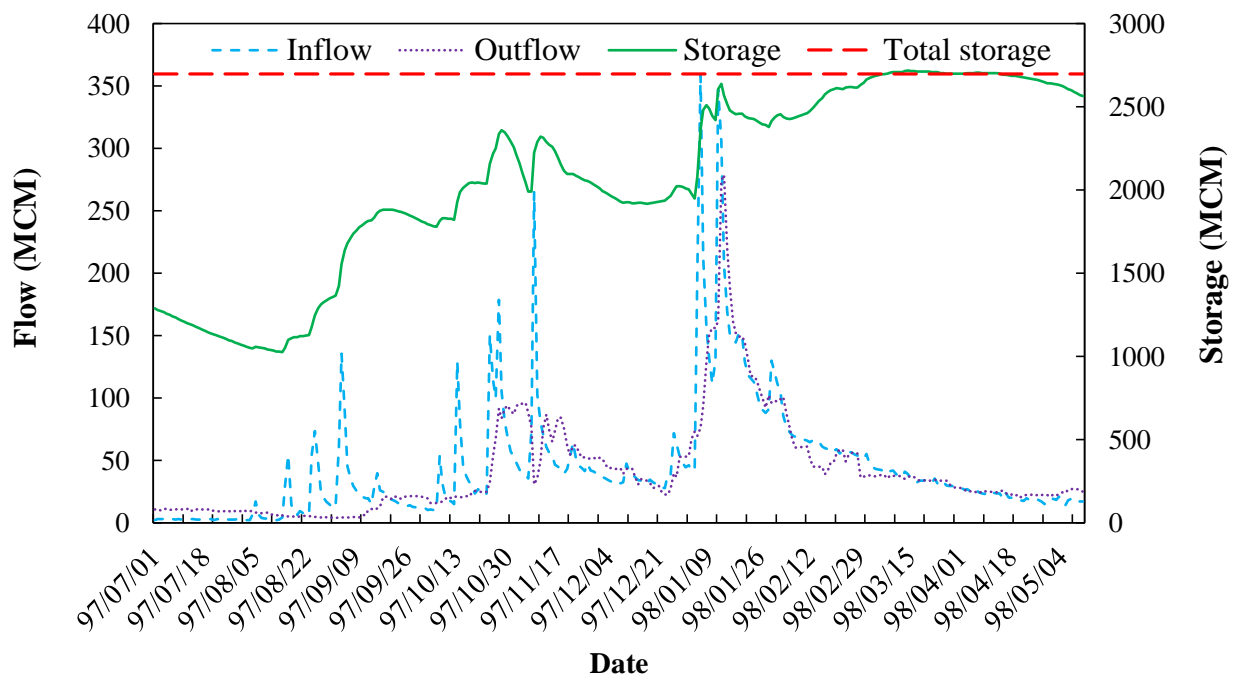


Fig. 11- The rule curve, storage, and inflow of the Dez dam in the 1397-98 water year  
 شکل ۱۱- سابقه منحنی فرمان سد دز در سال آبی ۱۳۹۷-۹۸ حجم آب ذخیره شده و حجم آب ورودی به سد

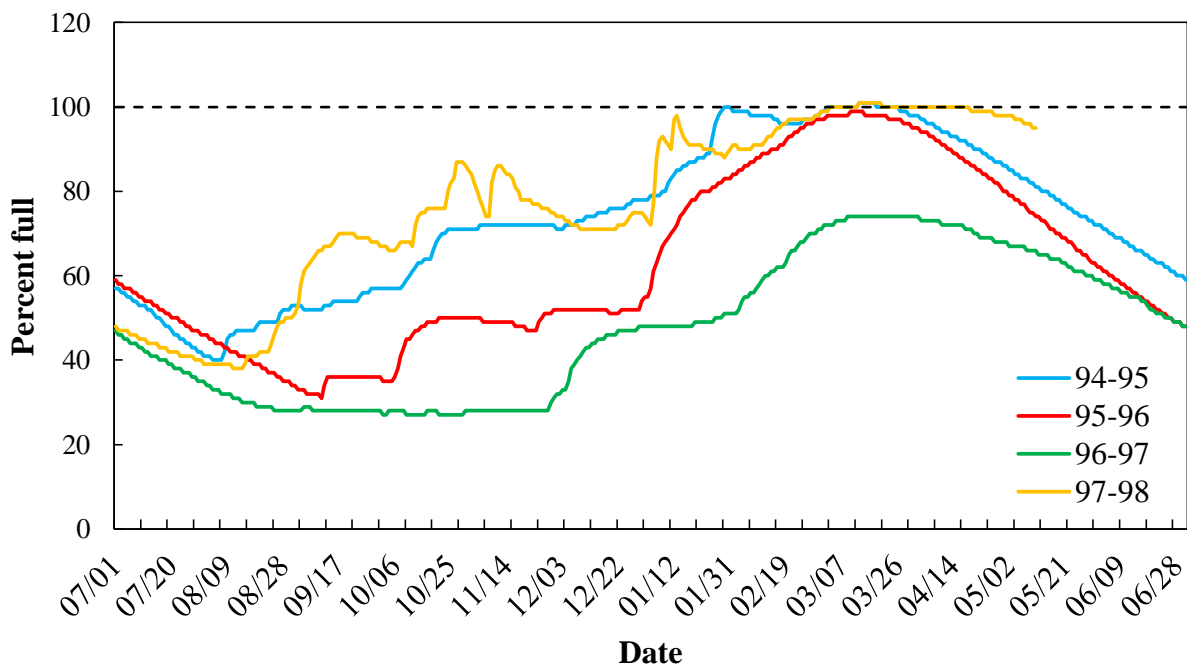


Fig. 12- Percent full of the Dez dam in the water years between 1394-95 and 1397-98  
 شکل ۱۲- مقایسه درصد پر بودن سد دز در سال‌های آبی ۱۳۹۴-۹۵ تا ۱۳۹۷-۹۸



#### ۴- نتیجه گیری

مهمترین نتایج حاصل از این مطالعه به شرح زیر است:

۱. از کل ظرفیت ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در منطقه مطالعه، تنها ۶۲ درصد آن قابل بهره‌برداری جهت انجام تحلیل‌های پایه و مدل‌سازی است که حاکی از عدم امکان استفاده حداکثری از زیرساخت‌های موجود در این منطقه است؛
۲. با توجه به نتایج تحلیل داده‌های سیلاب در ایستگاه هیدرومتری جلوگیر، بزرگترین دبی لحظه‌ای عبوری با شدت ۶۹۰۴ مترمکعب بر ثانیه در ۱۲ فروردین ۱۳۹۸ معادل با دوره بازگشت ۲۶۲ سال بوده است که به مراتب بزرگتر از دوره بازگشت سیلاب‌های تاریخی در منطقه مطالعه است؛
۳. همبستگی ضعیف و متوسط بین شدت رواناب و میزان رطوبت پیشین خاک طی ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۱۲۰ روزه در خاک قبل از وقوع سیل بدان معنا نبوده که رطوبت پیشین خاک در تشدید شدت وقوع سیلاب احتمالی نقشی ندارد، بلکه عوامل دیگر از جمله شدت بارش و ذوب برف نیز به طور همزمان در تولید سیلاب مؤثر بوده‌اند. با توجه به اینکه داده‌های حاصل از ماهواره برای رطوبت پیشین خاک با تفکیک زمانی خوبی در دسترس است، اهمیت نتایج فوق در امکان پایش برخط رطوبت خاک به منظور اعلام احتمال وقوع سیل و انجام اقدامات پیشگیری از خسارت ناشی از آن مانند تخلیه به هنگام سدهای منطقه است که البته این موضوع بسته به پیش‌بینی‌های انجام شونده از شدت بارندگی نیز دارد؛
۴. علاوه بر تأثیر مستقیم میزان رطوبت پیشین خاک در افزایش شدت سیلاب، همزمانی شدت آن در مقایسه با شدت بارش عاملی تعیین‌کننده در میزان خسارت ناشی از وقوع سیلاب است؛
۵. بررسی تغییرات کاربری اراضی زیرحوضه درجه دوم کرخه نشان داده که در سال ۱۳۹۷ نسبت به سال ۱۳۷۹، کلاس‌های اراضی شهری، خاک، پهنه آبی و پوشش گیاهی

به ترتیب ۰/۰۰۸، ۸/۲۱، ۱/۶۹ و ۶/۵۱ درصد تغییر داشته‌اند. با توجه به (۱) تأثیر ضعیف تغییر کاربری زمین بر شدت سیل در حوضه‌های آبریز بزرگ مقیاس مانند کرخه به دلیل غالب بودن مکانیزم تولید رواناب سطحی مازاد بر اشباع خاک در اینگونه حوضه‌ها، و (۲) غالب بودن تأثیر شدت و مدت زمان بارش بر شدت سیل نسبت به تأثیر تغییر کاربری زمین، تغییر کاربری اراضی را نمی‌توان به عنوان عاملی قوی برای تشدید سیلاب فروردین ۱۳۹۸ در نظر گرفت.

نحوه بهره‌برداری از سد دز در سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ نسبت به نحوه بهره‌برداری از سد کرخه تأثیر بسیار مؤثرتری روی کنترل سیلاب داشته است. سد کرخه با دو پیک سیلاب به فاصله ۵ روز مواجه بوده که شدت پیک دوم بسیار بیشتر از مقدار مشابه در سد دز بوده است؛ با این حال، قبل از این پیک، سد تقریباً به طور کامل پر بوده و حتی اگر پیک دوم بسیار کمتر هم می‌بود، ظرفیتی برای کنترل سیلاب وجود نداشت. بنابراین، در مدیریت سد در برابر سیلاب دو عامل فاصله رخدادهای بارش و ضرورت وجود پیش‌بینی‌های درست از حجم سیلاب در چگونگی بهره‌برداری از سد بسیار تأثیرگذار است که می‌بایست در برنامه‌ریزی و مدیریت بهره‌برداری از سد مورد توجه قرار گیرد.

#### قدردانی

نویسندگان این مقاله کمال تشکر را از حمایت مالی انجام شده توسط بنیاد ملی نخبگان در قالب جایزه دکتر کاظمی آشتیانی ابراز می‌دارند. از حمایت‌های معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه صنعتی شریف نیز قدردانی می‌گردد.

#### پی‌نوشت‌ها

- 1- Anderson-Darling
- 2- Normalized Difference Vegetation Index
- 3- Normalized Difference Water Index
- 4- Soil Moisture Active Passive

## ۵- مراجع

- Adam E, Mutanga O, Odindi J, and Abdel-Rahman EM (2014) Land-use/cover classification in a heterogeneous coastal landscape using RapidEye imagery: Evaluating the performance of random forest and support vector machines classifiers. *International Journal of Remote Sensing* 35(10):3440–3458
- Adugna T, Xu W, and Fan J (2022) Comparison of random forest and support vector machine classifiers for regional land cover mapping using coarse resolution FY-3C images. *Remote Sensing* 14(3):574
- Akbari E, Darvishi Bolorani A, Neysani Samany N, Hamzeh S, Soufizadeh S, and Pignatti S (2020) Crop mapping using random forest and particle swarm optimization based on multi-temporal Sentinel-2. *Remote Sensing* 12(9):1449
- Allen M, Raper S, and Mitchell J (2001) Uncertainty in the IPCC's third assessment report. *American Association for the Advancement of Science*
- Babaeian E, Sadeghi M, Jones SB, Montzka C, Vereecken H, and Tuller M (2019) Ground, proximal, and satellite remote sensing of soil moisture. *Reviews of Geophysics* 57(2):530–616
- Bangira T, Maathuis BHP, Dube T, and Gara TW (2015) Investigating flash floods potential areas using ASCAT and TRMM satellites in the Western Cape Province, South Africa. *Geocarto International* 30(7):737–754
- Beschta RL, Pyles MR, Skaugset AE, and Surfleet CG (2000) Peakflow responses to forest practices in the western cascades of Oregon, USA. *Journal of Hydrology* 233(1–4):102–120
- Blöschl G (2022) Three hypotheses on changing river flood hazards. *Hydrology and Earth System Sciences* 26(19):5015–5033
- Blöschl G, Komma J, Nester T, Rogger M, Salinas JL, and Viglione A (2018) Die Wirkung des Waldes auf Hochwässer. *Wildbach-und Lawinenverbau* 88(181):288–296
- Blöschl G, Nester T, Komma J, Parajka J, and Perdigão RAP (2013) The June 2013 flood in the Upper Danube Basin, and comparisons with the 2002, 1954 and 1899 floods. *Hydrology and Earth System Sciences* 17(12):5197–5212
- Gaál L, Szolgay J, Kohnová S, Parajka J, Merz R, Viglione A, and Blöschl G (2012) Flood timescales: Understanding the interplay of climate and catchment processes through comparative hydrology. *Water Resources Research* 48(4)
- Gislason PO, Benediktsson JA, and Sveinsson JR (2006) Random forests for land cover classification. *Pattern Recognition Letters* 27(4):294–300
- Han J, Pei J, and Kamber M (2011) *Data mining: Concepts and techniques*. Elsevier
- Heidarlou HB, Shafiei AB, Erfanian M, Tayyebi A, and Alijanpour A (2020) Underlying driving forces of forest cover changes due to the implementation of preservation policies in Iranian northern Zagros forests. *International Forestry Review* 22(2):241–256
- Hess TM, Holman IP, Rose SC, Rosolova Z, and Parrott A (2010) Estimating the impact of rural land management changes on catchment runoff generation in England and Wales. *Hydrological Processes: An International Journal* 24(10):1357–1368
- IPRC (2019) Investigation and analysis of the flood events of April 2019. *Islamic Parliament Research Center*
- Isik S, Dogan E, Kalin L, Sasal M, and Agiralioglu N (2008) Effects of anthropogenic activities on the Lower Sakarya River. *Catena* 75(2):172–181
- Jones JA and Grant GE (1996) Peak flow responses to clear-cutting and roads in small and large basins, western Cascades, Oregon. *Water Resources Research* 32(4):959–974
- Keller T, Sandin M, Colombi T, Horn R, and Or D (2019) Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. *Soil and Tillage Research* 194:104293
- Kim S, Zhang R, Pham H, and Sharma A (2019) A review of satellite-derived soil moisture and its usage for flood estimation. *Remote Sensing in Earth Systems Sciences* 2(4):225–246
- Li H, Zhang C, Zhang S, and Atkinson PM (2020) Crop classification from full-year fully-polarimetric L-band UAVSAR time-series using the Random Forest algorithm. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 87:102032
- Liu YB, de Smedt F, Hoffmann L, and Pfister L (2005) Assessing land use impacts on flood processes in complex terrain by using GIS and modeling approach. *Environmental Modeling & Assessment* 9(4):227–235

- Lu Y, Song W, Su Z, Lü J, Liu Y, and Li M (2020) Mapping irrigated areas using random forest based on GF-1 multi-spectral data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences* 43
- Mekha P and Teeyasuksaet N (2021) Image classification of rice leaf diseases using random forest algorithm. 2021 Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology with ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunication Engineering. *IEEE*, 165–169
- Miller JD and Hutchins M (2017) The impacts of urbanisation and climate change on urban flooding and urban water quality: A review of the evidence concerning the United Kingdom. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 12:345–362
- Na X, Zhang S, Li X, Yu H, and Liu C (2010) Improved land cover mapping using random forests combined with landsat thematic mapper imagery and ancillary geographic data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 76(7):833–840
- Paté-Cornell ME (1996) Uncertainties in risk analysis: Six levels of treatment. *Reliability Engineering & System Safety* 54(2–3):95–111
- Penna D, Tromp-van Meerveld HJ, Gobbi A, Borga M, and Dalla Fontana G (2011) The influence of soil moisture on threshold runoff generation processes in an alpine headwater catchment. *Hydrology and Earth System Sciences* 15(3):689–702
- Poff NL, Bledsoe BP, and Cuhaciyian CO (2006) Hydrologic variation with land use across the contiguous United States: Geomorphic and ecological consequences for stream ecosystems. *Geomorphology* 79(3–4):264–285
- Reichle RH, de Lannoy GJM, Liu Q, Koster RD, Kimball JS, Crow WT, Ardizzone J v, Chakraborty P, Collins DW, and Conaty AL (2017) Global assessment of the SMAP level-4 surface and root-zone soil moisture product using assimilation diagnostics. *Journal of Hydrometeorology* 18(12):3217–3237
- Rogger M, Agnoletti M, Alaoui A, Bathurst JC, Bodner G, Borga M, Chaplot V, Gallart F, Glatzel G, and Hall J (2017) Land use change impacts on floods at the catchment scale: Challenges and opportunities for future research. *Water Resources Research* 53(7):5209–5219
- Sakazume R, Ryo M, and Saaveda O (2015) Consideration of antecedent soil moisture for predicting flood characteristics. *Japan Society of Civil Engineers* 71(4):I\_97-I\_102
- Schilling KE, Gassman PW, Kling CL, Campbell T, Jha MK, Wolter CF, and Arnold JG (2014) The potential for agricultural land use change to reduce flood risk in a large watershed. *Hydrological Processes* 28(8):3314–3325
- SRCIF (2020) Final report; Narrative, analysis, lessons learned and recommendations. Special Reporting Committee on Iran Floods 2019 (In Persian)
- Taylor R (1990) Interpretation of the correlation coefficient: a basic review. *Journal of diagnostic medical sonography* 6(1):35–39
- Viglione A and Blöschl G (2009) On the role of storm duration in the mapping of rainfall to flood return periods. *Hydrology and Earth System Sciences* 13(2):205–216
- Wasko C and Nathan R (2019) Influence of changes in rainfall and soil moisture on trends in flooding. *Journal of Hydrology* 575:432–441
- Xu Z, Chen J, Xia J, Du P, Zheng H, and Gan L (2018) Multisource earth observation data for land-cover classification using random forest. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 15(5):789–793
- Zafari A, Zurita-Milla R, and Izquierdo-Verdiguier E (2020) A multiscale random forest kernel for land cover classification. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 13:2842–2852