

Analysing the effects of drought and construction structures on flood dynamics in the Karun river

Samaneh Razavizadeh^{1*} , Zahra Saeidifar², Mohamad Khosroshahi³, Fatemeh Dargahian⁴, Sara Teimouri⁵, Adel Jalili⁶

1*-Corresponding author, Assistant Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, Email: srazavizadeh@ymail.com

2-Research Expert, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

3-Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

4-Associate Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

5-Assistant Professor, Poplar and Fast-Growing Plants Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

6-Professor, Botany Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 03/11/2025

Revised: 05/12/2025

Accepted: 05/15/2025

Published: 05/27/2025

Abstract

Background and Objective

The environment harbors both valuable resources and potential hazards. Among these hazards, natural disasters—especially floods—pose a significant risk to society. Floods are recurring natural events that consistently lead to widespread destruction and considerable human and economic losses. Understanding the factors that influence river flood variability, particularly those related to water control infrastructure and drought occurrences, is therefore essential. This study aims to explore the effects of drought and dam construction on the fluctuations in the maximum flood levels of the Karun River.

Methodology

To investigate flood trends, data on instantaneous maximum discharge from the Ahvaz hydrometric station were analyzed over 50 years (1966–2016). Statistical methods, including analysis of variance, ranking of maximum discharges, and flood frequency analysis, were employed to assess the data. In addition, the study examined the status of dams within the Karun watershed and applied the SPEI drought index to explore the relationship between climate change and human interventions in shaping the river's flood regime.

Results

An assessment of dam construction trends within the Karun watershed indicates that the expansion of dam infrastructure significantly contributed to the reduction of peak discharges. The findings show that dam construction played a major role in decreasing downstream peak flood discharges, particularly during the last two decades (1996–2016). However, in some cases, improper reservoir management has worsened the intensity of flash floods. After the

construction of key dams such as Karun 1, 3, and 4, there was a noticeable decrease in peak discharges at the Ahvaz hydrometric station. This reduction underscores the importance of water control structures in flood management and outflow regulation. Nevertheless, in certain instances, altered flow patterns and delayed reservoir emptying have escalated the risk of flash floods, especially when sedimentation reduced reservoir capacity. The SPEI drought index analysis further reveals that extended drought periods have increased the likelihood of flash floods by lowering soil permeability and intensifying surface runoff. For example, in the final decade of the study (2006–2016), 53% of the basin experienced severe drought, 13% faced very severe drought, and 29% endured moderate to weak drought conditions. A small portion of the basin—about 1%—experienced wet conditions, and less than 5% recorded normal conditions. In contrast, during the first decade of the study (1967–1976), 18% of the basin was affected by drought, 22% experienced normal conditions, and 60% of the area was classified as wet.

Conclusion

The impact of drought in the final decade has been associated with an increase in flood frequency. The majority of floods during this period were of low intensity, with short return periods (2 to 5 years). In contrast, earlier decades, characterized by less severe droughts, displayed lower flood frequencies but included events with longer return periods. These findings highlight the need to concurrently address both climatic and structural factors to improve water resource management and mitigate flood-related damages.

Keywords: Dam construction, droughts, floods, Karun river, resource management water, statistical analysis.

بررسی اثرگذاری خشکسالی و سازه‌های احدثی بر تغییرات سیلاب رودخانه کارون

سمانه رضوی‌زاده^{۱*}، زهرا سعیدی‌فر^۲، محمد خسروشاهی^۳، فاطمه درگاهیان^۴، سارا تیموری^۵، عادل جلیلی^۶

۱-نویسنده مسئول، استادیار پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

پست الکترونیکی: srazavizadeh@ymail.com

۲-کارشناس پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۳-استاد پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۴-دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۵-استادیار پژوهش، بخش تحقیقات صنوبر و گیاهان سریع‌الرشد، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۶-استاد پژوهش، بخش تحقیقات گیاهشناسی، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۱ تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۴/۰۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۵ تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۰۳/۰۶

چکیده

مقدمه

محیط زیست دارای منابعی ارزشمند و در عین حال خطرات بالقوه است. بلایای طبیعی، به ویژه سیل، به عنوان یک تهدید بزرگ برای جامعه مطرح است. سیل یک پدیده طبیعی تکرارشونده است که همواره باعث تخریب گسترده و خسارات انسانی و اقتصادی می‌شود. در این میان، شناخت عوامل مؤثر بر تغییرات سیلابی رودخانه‌ها، به‌ویژه در اثر احداث سازه‌های کنترل آب و وقوع خشکسالی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر خشکسالی و احداث سدها بر تغییرات سیلاب‌های حداکثر رودخانه کارون انجام شده است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور تحلیل روند سیلاب‌ها، داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه هیدرومتری اهواز در یک بازه زمانی ۵۰ ساله (۱۳۹۵-۱۳۴۵) مورد بررسی قرار گرفت. برای تحلیل داده‌ها از روش‌های آماری شامل تحلیل واریانس، رتبه‌بندی دبی‌های حداکثر و تحلیل فراوانی سیلاب استفاده شد. همچنین، وضعیت سدهای احداث‌شده در حوزه آبخیز کارون و شاخص خشکسالی SPEI جهت بررسی اثرات متقابل تغییرات اقلیمی و مداخلات انسانی بر رژیم سیلابی رودخانه مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج

تحلیل روند احداث سدها در آبخیز کارون نشان داد که توسعه سدسازی در طول این دوره تأثیر قابل‌توجهی بر کاهش دبی‌های حداکثر داشته است. نتایج نشان داد که احداث سدها تأثیر قابل‌توجهی در کاهش دبی‌های اوج سیلابی پایین‌دست به خصوص در دو دهه اخیر (۱۳۷۵-۱۳۹۵) داشته، اما در برخی موارد، مدیریت نامناسب مخازن منجر به افزایش شدت سیلاب‌های ناگهانی شده است. پس از احداث سدهای بزرگ از جمله سدهای کارون ۱، ۳ و ۴، میزان دبی‌های اوج در ایستگاه هیدرومتری اهواز کاهش محسوسی داشته است. این کاهش نشان‌دهنده نقش سازه‌های کنترلی در مدیریت سیلاب‌ها و تنظیم جریان‌های خروجی است. با این حال، در برخی موارد، تغییر در رژیم جریان و تأخیر در تخلیه مخازن می‌تواند موجب افزایش خطر وقوع سیلاب‌های ناگهانی شود، به‌ویژه در مواقعی که ظرفیت مخازن به دلیل رسوب‌گذاری کاهش یافته است. همچنین، بررسی شاخص خشکسالی SPEI نشان داد که دوره‌های خشکسالی طولانی‌مدت با کاهش ظرفیت نفوذپذیری خاک و افزایش رواناب سطحی، احتمال وقوع سیلاب‌های ناگهانی را افزایش داده‌اند. به طوری که در دهه اخیر مورد بررسی (۱۳۸۵-۹۵) ۵۳ درصد حوضه با شرایط خشکسالی شدید، ۱۳ درصد شرایط

خشکسالی بسیار شدید و ۲۹ درصد خشکسالی متوسط و ضعیف همراه بوده است و تنها در محدوده بسیار کوچکی در حدود ۱ درصد شرایط ترسالی و در کمتر از ۵ درصد شرایط نرمال بوده است این درحالی است که در دهه اول (۵۵-۱۳۴۶) ۱۸ درصد مساحت حوضه تحت تأثیر انواع خشکسالی و تقریباً ۲۲ درصد دارای شرایط نرمال بوده است. ۶۰ درصد مساحت کل حوضه نیز در شرایط انواع ترسالی قرار گرفته است.

نتیجه‌گیری

تأثیر خشکسالی‌های به وقوع پیوسته در یک دهه اخیر بر وقوع سیلاب به صورت افزایش فراوانی وقوع سیلاب در دهه آخر بازه زمانی مطالعه شده است. از سوی دیگر اکثریت قریب به اتفاق سیلاب‌های دهه اخیر سیلاب‌های با دوره بازگشت کم (۲ و ۵ ساله) و با شدت کم هستند. این در حالی است که در دهه‌های قبلی، همزمان با شدت خشکسالی کم، شاهد فراوانی وقوع سیلاب کمتر اما وقایع سیلابی با دوره بازگشت بیشتر بوده‌ایم. این یافته‌ها اهمیت در نظر گرفتن هم‌زمان عوامل اقلیمی و سازه‌ای در مدیریت منابع آب و کاهش خسارات سیلاب را برجسته می‌سازد.

واژه‌های کلیدی: احداث سد، تحلیل آماری، خشکسالی، رودخانه کارون، سیلاب، مدیریت منابع آب.

مقدمه

سیلاب یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی است که سالانه خسارات زیادی به جوامع انسانی، زیرساخت‌ها و محیط‌زیست وارد می‌کند. پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارش در مناطق خشک و نیمه‌خشک باعث ایجاد سیلاب‌های مخرب و وارد آمدن خسارات جانی و مالی فراوانی می‌شود. با توجه به شرایط اقلیمی، بخش مهمی از کشور جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود ([Kashki & Ghorbani, 2004](#)). به‌طورکلی، سیلاب‌ها در نتیجه بارش‌های با شدت بالا (ارتفاع بارش زیاد در مدت‌زمان کوتاه) به وقوع می‌پیوندند که باعث می‌شود جریان رودخانه به‌سرعت از ظرفیت عبوردهی آن تجاوز کرده و آب مازاد به اراضی مجاور رودخانه سرریز کند. این مسئله منجر به بروز خسارات محسوس و نامحسوسی می‌شود ([Razavizadeh, 2022](#)). عوامل متعددی ازجمله بارش شدید، تغییرات کاربری اراضی، تغییرات اقلیمی و مداخلات انسانی در رژیم هیدرولوژیکی رودخانه‌ها می‌توانند در شدت و فراوانی وقوع سیلاب تأثیرگذار باشند ([Akter et al., 2018](#)). به‌طورکلی، تغییرات در رژیم سیلابی رودخانه‌ها را می‌توان به دو دسته عوامل اقلیمی و عوامل انسان‌ساخت تفکیک کرد ([Mishra & Singh.,](#)

[2011](#)). تفکیک اثرات این دو دسته عوامل، به‌ویژه در مناطقی که هم تغییرات اقلیمی و هم مداخلات انسانی نقش پررنگی در دینامیک سیلاب دارند، چالشی اساسی در مطالعات هیدرولوژیکی محسوب می‌شود. در این میان، احداث سدها و وقوع خشکسالی ازجمله عوامل مهمی هستند که می‌توانند الگوی جریان‌های حداکثر و وقوع سیلاب‌ها را تغییر دهند. خشکسالی به‌عنوان یک مخاطره طبیعی، موجب کاهش جریان پایه و افزایش نوسانات در دبی رودخانه‌ها می‌شود، درحالی‌که احداث سدها با تنظیم جریان، تأثیرات قابل‌توجهی بر دبی‌های حدی و وقوع سیلاب‌ها دارد ([ward et al., 2020](#) [Remo et al., 2018](#)). اثرات متقابل این دو عامل بر جریان‌های حداکثر و سیلاب، موضوعی پیچیده است که در سال‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. مطالعات متعددی به بررسی اثرات احداث سدها و خشکسالی بر سیلاب‌ها پرداخته‌اند. برای مثال، پژوهش [Fesahat](#) و همکاران (۲۰۱۵) نشان داده است که احداث سدها باعث کاهش دبی‌های اوج و کنترل سیلاب‌ها در پایین‌دست می‌شود. بااین‌حال، نتایج مطالعه [Hashemi و Ghazariyan](#) (۲۰۱۴) تأکید دارد که مدیریت نامناسب مخازن و کاهش ظرفیت ذخیره در اثر رسوب‌گذاری می‌تواند باعث افزایش خطر وقوع سیلاب‌های

دوره‌های طولانی خشکسالی می‌توانند باعث تغییر در رفتار آب‌های سطحی شده و منجر به سیلاب‌های ناگهانی پس از بارش‌های شدید شوند، به‌ویژه در مناطقی که ظرفیت جذب آب خاک کاهش یافته است. همچنین، [Remo](#) و همکاران (۲۰۱۸)، نشان دادند که شدت خشکسالی و دوره‌های بازگشت سیلاب در بسیاری از مناطق جهان به دلیل تغییرات اقلیمی و مدیریت نامناسب منابع آب در حال تغییر است. همچنین، مطالعاتی مانند تحقیق [Haddeland](#) و همکاران (۲۰۲۰)، به اثرات تغییر کاربری اراضی و مداخلات انسانی در افزایش سیلاب‌های ناگهانی اشاره کرده‌اند. این پژوهشگران نشان داده‌اند که توسعه مناطق شهری، زهکشی زمین‌های کشاورزی و برداشت بی‌رویه از آب‌های سطحی و زیرزمینی سبب تغییر در پاسخ هیدرولوژیکی حوضه‌ها به بارش شده و گاهی شدت سیلاب‌ها را افزایش داده است. در مجموع، بررسی منابع نشان می‌دهد که تأثیر سدها و خشکسالی بر سیلاب‌ها به عوامل متعددی از جمله ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوضه، نحوه مدیریت مخازن سد، شدت و مدت خشکسالی و تغییرات اقلیمی وابسته است ([Haddeland et al., 2020](#)). از این رو، بررسی دقیق این عوامل در هر منطقه ضروری است تا راهکارهای مناسبی برای مدیریت سیلاب‌ها ارائه شود. با توجه به اهمیت سیلاب‌ها و نقش عوامل اقلیمی و انسانی در تغییر رژیم جریان‌های حداکثر، این پژوهش با هدف بررسی اثرات احداث سدها و خشکسالی بر جریان‌ات حداکثر و وقوع سیلاب‌ها انجام شده است. در این راستا، تلاش شده است تا با تفکیک اثرات تغییرات اقلیمی و عوامل انسان‌ساخت، تأثیرات متقابل این دو عامل بررسی شود. نتایج این پژوهش می‌تواند به تصمیم‌گیران و مدیران منابع آب در بهینه‌سازی مدیریت سیلاب‌ها و کاهش خسارات ناشی از آن کمک کند.

مواد و روش‌ها

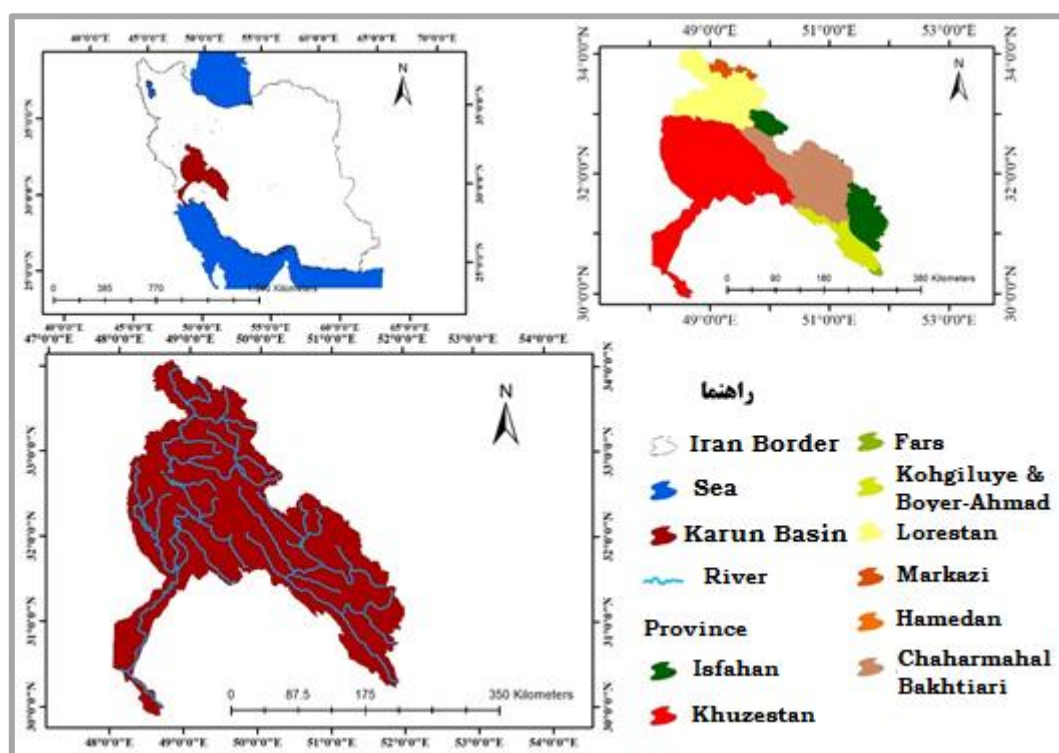
منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز کارون بزرگ دارای وسعتی بالغ بر ۶۶۶۶۱ کیلومتر مربع است که چیزی در حدود ۷۵ درصد آن را

ناگهانی شود. در همین راستا، [Zhang](#) و همکاران (۲۰۲۲)، بررسی کردند که چگونه تغییرات اقلیمی همراه با احداث سدها می‌تواند الگوی سیلاب‌ها را دگرگون کند و نشان دادند که در برخی موارد، تأخیر در تخلیه مخازن می‌تواند شدت سیلاب‌های ناگهانی را افزایش دهد. سدها از یک سو با ذخیره و تنظیم آب می‌توانند شدت سیلاب‌ها را کاهش دهند، اما از سوی دیگر، تغییر در الگوی تخلیه مخازن و رسوب‌گذاری ممکن است موجب تغییراتی در شدت و فراوانی سیلاب‌های پایین‌دست شود ([Jonathan et al., 2018](#)). در مقابل، خشکسالی‌های طولانی‌مدت می‌توانند منجر به کاهش ظرفیت مخازن و افزایش خطر سیلاب‌های ناگهانی پس از بارش‌های شدید شوند ([Mishra & Singh., 2011](#)). بررسی اثرات ترکیبی این دو عامل برای مدیریت بهینه منابع آب و کاهش خسارات ناشی از سیلاب، امری ضروری است. از سوی دیگر، مطالعات نشان داده‌اند که خشکسالی طولانی‌مدت می‌تواند خطر سیل را هنگام وقوع بارندگی شدید افزایش دهد ([Brunner, 2023](#)). رابطه بین خشکسالی هواشناسی و سیل پیچیده است و تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد. خشکسالی هواشناسی که با دوره‌های طولانی کم‌بارش مشخص می‌شود، می‌تواند منجر به خشک شدن خاک و کاهش پوشش گیاهی گردد. این وضعیت، ظرفیت نفوذ خاک را تحت تأثیر قرار داده و آن را مستعد رواناب در طول حوادث بارندگی شدید بعدی می‌کند. هنگامی که خاک خشک و متراکم است، نمی‌تواند آب را به‌طور مؤثر جذب کند که این امر منجر به افزایش رواناب سطحی و احتمال بیشتر سیل می‌شود. تحقیقات نشان داده است که انتقال از خشکسالی به شرایط سیل می‌تواند ناگهانی و شدید باشد. به‌عنوان مثال، یک مطالعه در حوضه رودخانه Huai در چین نشان داد که رویدادهای بارش شدید پس از دوره‌های خشکسالی به‌طور قابل‌توجهی خطر سیل را افزایش می‌دهند. این مطالعه، اهمیت درک ویژگی‌های مکانی-زمانی بارش و تأثیر آن بر خشکسالی و بلایای سیل را برجسته کرده است ([Gao et al., 2015](#)). [Mishra و Singh](#) (۲۰۱۱)، نیز در مطالعه‌ای جامع بیان کردند که

کرخه، از شمال و شرق با حوضه‌های دریاچه نمک، گاوخونی و بختگان-مهارلو و در جنوب و شرق با حوضه زهره-جراحی دارای مرز مشترک می‌باشد. این حوضه در قسمت خروجی به رودخانه اروند و سپس به خلیج فارس می‌پیوندد (شکل ۱).

نواحی کوهستانی و ارتفاعات و ۲۵ درصد آن دشت‌ها و مناطق پست و کم ارتفاع می‌باشد. بیشترین ارتفاع حوضه، قله دنا واقع در شمال شرقی حوضه با ۴۴۰۹ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. کمترین ارتفاع حوضه کمتر از ۲ متر از سطح دریا مربوط به نقطه خروجی حوضه در انتهای بهمنشیر (محل اتصال به خلیج فارس) است. این حوضه از غرب با حوضه



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه و رودخانه کارون

Figure 1- Geographical location of the Karun basin and river

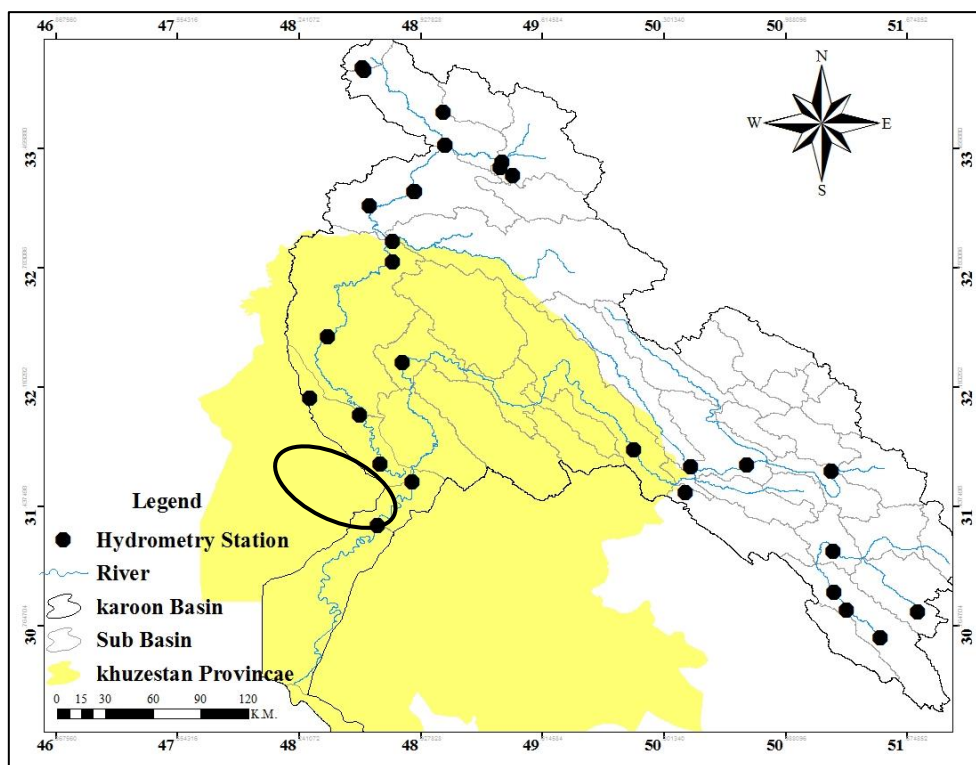
سیلابی، ایستگاه اهواز است که آخرین ایستگاه هیدرومتری واقع شده بر شاخه رودخانه کارون محسوب می‌شود (شکل ۲). با توجه به اینکه ایستگاه هیدرومتری اهواز، دارای آمار طولانی مدت است، دوره پایه مطالعه از سال‌های ۴۶-۱۳۴۵ تا ۹۵-۱۳۹۴ انتخاب گردید. به منظور مطالعه دبی ایستگاه در دوره شاخص (۹۵-۱۳۴۵)، از آمار وزارت نیرو (گزارش مطالعات پایه منابع آب، شرکت مدیریت منابع آب، وزارت نیرو، ۱۳۹۴) استفاده شد. شایان ذکر است که در مطالعه انجام شده توسط وزارت نیرو، تمامی مراحل کنترل

روش تحقیق

شناسایی و ارزیابی عملکرد ایستگاه‌های هیدرومتری به منظور بررسی رژیم سیلابی رودخانه کارون و آنالیز تغییرات آن در یک بازه زمانی بلند مدت، در گام نخست نسبت به شناسایی ایستگاه‌های هیدرومتری در سطح حوضه، سال تأسیس و بازه زمانی دارای آمار در هر ایستگاه اقدام شد. از مجموع ۱۲۶ ایستگاه حوضه کارون، ۲۸ ایستگاه از آمار در دوره زمانی ۵۰ ساله برخوردار است. ایستگاه هیدرومتری منتخب در این مطالعه برای تحلیل دبی‌های

بازسازی ارائه شده است. لذا در مطالعه حاضر به داده‌های ارائه شده در گزارش مذکور استناد شد.

تصادفی بودن داده‌ها، بررسی همگنی ایستگاه‌ها و بررسی داده‌های پرت با دقت انجام شده و در گزارش ارائه شده بطور کامل مراحل و نتایج کنترل داده‌های دبی قبل و بعد از



شکل ۲- نقشه موقعیت ایستگاه هیدرومتری منتخب در حوزه آبخیز کارون

Figure 2- Location map of selected hydrometric station in the Karun watershed

بعدی در آزمون‌های آماری تحلیل واریانس شرکت داده شوند. به منظور تحلیل واریانس هریک از دهه‌ها به یک گروه ۱ تا ۵ نسبت داده شد به نحوی که دهه ۵۴-۱۳۴۵ تحت نام گروه یک و دهه‌های بعدی، گروه‌های ۲ تا ۵ اختصاص داده شد. تحلیل واریانس (ANOVA) سری زمانی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه مورد مطالعه توسط نرم افزار آماری SPSS انجام شد. در گام بعد رتبه بندی دبی های حداکثر لحظه‌ای انجام شد. بدین منظور سری زمانی ۵۰ ساله دبی‌های حداکثر لحظه‌ای سیلاب از سال آبی ۴۶-۱۳۴۵ تا سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ رتبه‌بندی شده و سال وقوع آن‌ها مشخص شد. به بزرگترین سیلاب رتبه اول و به آخرین رتبه ۵۰ داده شد. در گام آخر بررسی

بررسی وضعیت سیلاب حداکثر لحظه‌ای

در مطالعه سیلاب و دبی حداکثر لحظه‌ای آمار ایستگاه منتخب از سال آبی ۴۶-۱۳۴۵ تا سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ برای یک دوره آماری ۵۰ ساله استخراج و بررسی شد. و بررسی آماری، تحلیل واریانس، رتبه بندی دبی‌های حداکثر لحظه‌ای و تحلیل فراوانی سیلاب صورت گرفت. تحلیل آماری پارامتر حداکثر لحظه‌ای با استفاده از اطلاعاتی شامل متوسط، حداکثر، حداقل، انحراف معیار، ضریب تغییرات و دامنه تغییرات انجام شد. در ادامه کار سری زمانی دبی‌های حداکثر لحظه‌ای به ۵ گروه ۱۰ ساله؛ ۵۵-۱۳۴۵، ۶۵-۱۳۵۵، ۷۵-۱۳۶۵، ۸۵-۱۳۷۵ و ۹۵-۱۳۸۵ تقسیم و متوسط گیری شد تا در بخش‌های

شاخص خشکسالی SPEI

این شاخص در سال ۲۰۱۰ توسط ویسنته سرانو و همکاران در ساراگوسا در اسپانیا به کار برده شد که در آن از داده‌های بارش و تبخیر و تعرق استفاده شده است. این شاخص با ترکیب حساسیت شاخص PDSI از طریق تغییرات تقاضای تبخیر و بر پایه مفاهیم قابلیت محاسبه در مقیاس‌های مختلف شاخص SPI توسعه یافته است. نحوه محاسبه آن همانند شاخص SPI است با این تفاوت که در شاخص SPEI اختلاف بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین منظور برای محاسبه این شاخص در گام اول باید مقدار تبخیر و تعرق هر ماه برآورد شود سپس از طریق رابطه زیر تفاوت مقدار بارندگی (P) و مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) برای ماه i محاسبه می‌گردد.

$$D_i = P_i - PET_i \quad \text{معادله (۱)}$$

محاسبه این شاخص نیازمند برآورد مقادیر احتمال تجمعی مقادیر D_i از طریق برازش یک تابع چگالی احتمال می‌باشد. با توجه به آن که مقادیر D_i از کران پایین به مقادیر منفی منتهی می‌شود توابع احتمال دو پارامتری نمی‌توانند برای این امر انتخاب شوند. بر اساس بررسی ویسنته سرانو و همکاران (۲۰۱۰) در بین توابع مختلف سه پارامتری، تابع چگالی احتمال لوگ-لجستیک سه پارامتری دارای بهترین برازش بر مقادیر D_i تشخیص داده شده است. مقادیر مثبت SPEI بیانگر مثبت بودن بیلان آب و مقادیر منفی آن بیانگر منفی بودن بیلان آب است (جدول ۱). خشک‌سالی هنگامی شروع می‌گردد که مقادیر شاخص به منفی یک برسد و با مثبت شدن آن خاتمه می‌یابد (Vicente-Serrano, 2010).

نتایج

نتایج تحلیل آماری دبی‌های حداکثر لحظه‌ای سیلاب نتایج متوسط دبی حداکثر لحظه‌ای در دوره‌های زمانی ده ساله و در آخرین ایستگاه هیدرومتری درجه (۱) رودخانه کارون در شکل (۳) نمایش داده شده است.

وضعیت سیلاب تحلیل فراوانی سیلاب‌ها انجام شد. وقتی که تعداد نمونه‌های آماری کافی بوده و امکان برازش تابع توزیع مناسب وجود داشته باشد، تحلیل فراوانی یکی از روش‌های مناسب آماری در برآورد مقادیر سیلاب در دوره بازگشت‌های متفاوت و دبی‌های طراحی است که با استفاده از تئوری‌های توزیع آماری و انتخاب قانون احتمال یا تابع توزیع مناسب قابل حصول می‌باشد منظور از تحلیل فراوانی بدست آوردن قانون احتمالی "تابع چگالی" یا "تابع توزیع" حاکم بر متغیر تصادفی مورد مطالعه از روی نمونه اندازه‌گیری شده و محاسبه دوره بازگشت یا مقدار پیشامد xT است.

به طور کلی، تحلیل فراوانی سیلاب بررسی احتمالی متغیر تصادفی سیل است که شامل گام‌های زیر است:

الف) جمع‌آوری نمونه (دبی حداکثر لحظه‌ای) ب) ترمیم و تکمیل داده‌های نمونه ج) آزمون‌های لازم آماری مانند: تصادفی بودن، مستقل بودن، همگنی، ایستایی و داده‌های پرت د) انتخاب توزیع مناسب آماری تابع چگالی $f(x)$ یا تابع توزیع $F(x)$. ه) برآورد پارامترهای تابع چگالی و آزمون‌های مورد نیاز برای برازش تابع چگالی و انتخاب بهترین تابع ز) محاسبه دوره‌های بازگشت مختلف از روی تابع توزیع برتر

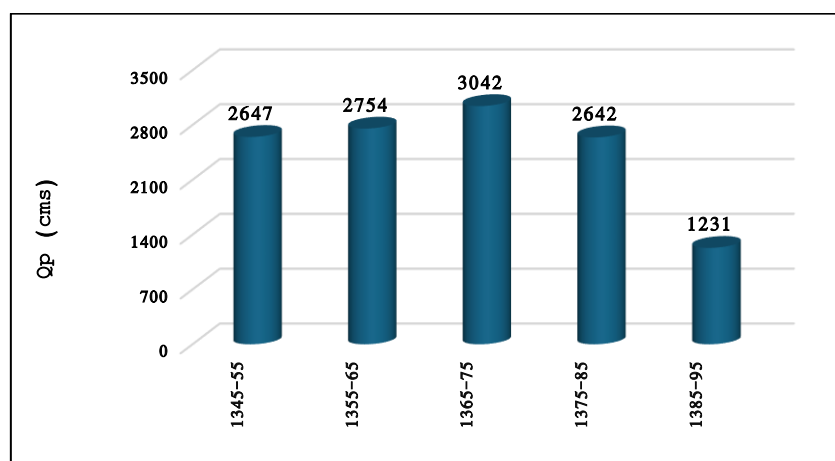
به منظور تحلیل فراوانی سیلاب و تعیین دوره‌های بازگشت مختلف، داده‌های حداکثر لحظه‌ای سیل برای طول دوره آماری ۵۰ ساله ایستگاه هیدرومتری منتخب استفاده و توسط نرم افزار هیدرولوژیکی Hyfa Run تحلیل شد.

مطالعه سازه‌های احداث شده بر رودخانه کارون در این بخش از مطالعه آمار سدهای موجود در حوزه آبخیز کارون، اعم از سدهای در دست مطالعه، اجرا و بهره برداری از طریق سازمان‌های وابسته به وزارت نیرو جمع آوری شده است و روند احداث آنها طی ۵۰ سال گذشته (۹۵-۱۳۴۵) در حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه بررسی و ارائه شده است. به طور کلی سدها از لحاظ میزان پیشرفت به سه دسته سدهای در دست مطالعه، سدهای در دست اجرا و سدهای بهره برداری تقسیم‌بندی می‌شوند.

جدول ۱- مقادیر شاخص خشکسالی SPEI و SPI

Table 1- SPEI and SPI drought index values

Drought and Wetness Situation	SPEI Index Value
Extremely Severe Drought	Equal to and less than -2
Severe Drought	-1.5 to -1.99
Normal or Moderate Drought	-1 to -1.49
Mild Drought	-0.5 to -0.99
Near Normal	-0.49 to 0.5
Mild Wetness	0.49 to 0.99
Normal or Moderate Wetness	1 to 1.49
Severe Wetness	1.5 to 1.99
Extremely Severe Wetness	Equal to and greater than 2

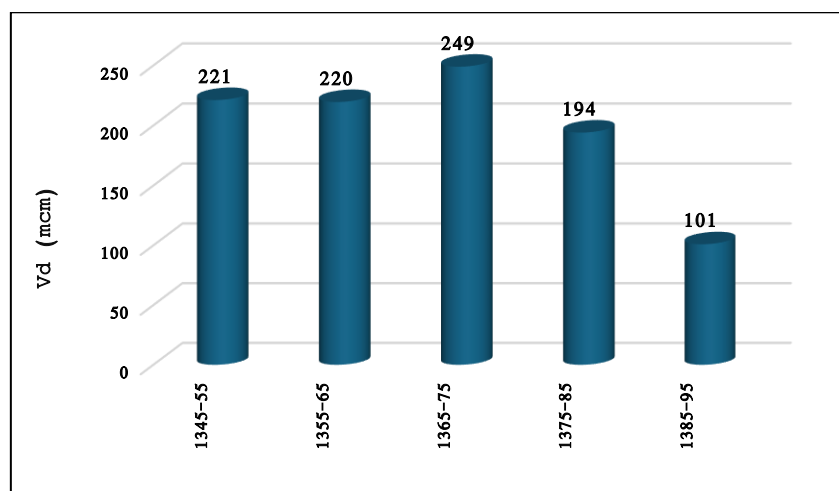


شکل ۳- متوسط دبی حداکثر لحظه‌ای در دوره‌های زمانی ده ساله ایستگاه هیدرومتری اهواز

Figure 3- Average of maximum peak flows in ten-year periods of Ahvaz hydrometric station

هیدرومتری اهواز نشان می‌دهد که متوسط و انحراف معیار حجم سیلاب حداکثر روزانه ۵۰ ساله مورد مطالعه به ترتیب برابر ۱۹۵ و ۱۱۵ میلیون مترمکعب، دامنه سیلاب از ۵۰ تا ۵۵۸ میلیون مترمکعب و ضریب تغییرات آن بالا و برابر ۵۹ درصد است. متوسط حجم سیلاب حداکثر روزانه سری‌های زمانی ۴ گروه ۱۰ ساله؛ ۱۳۴۵-۵۵، ۱۳۵۵-۶۵، ۱۳۶۵-۷۵ و ۱۳۷۵-۸۵ تغییرات چندانی نداشته و برابر ۲۲۱ میلیون مترمکعب می‌باشد اما دهه ۱۳۸۵-۹۵ این مقدار برابر ۱۰۱ میلیون مترمکعب و کاهشی معادل ۵۴ درصد دارد (شکل ۴).

تحلیل آماری سیلاب حداکثر لحظه‌ای رودخانه کارون بزرگ در ایستگاه هیدرومتری اهواز نشان می‌دهد که متوسط و انحراف معیار دبی حداکثر لحظه‌ای ۵۰ ساله مورد مطالعه به ترتیب برابر ۲۴۶۳ و ۱۳۳۵ مترمکعب بر ثانیه، دامنه سیلاب از ۶۱۹ تا ۶۷۰۴ مترمکعب بر ثانیه و ضریب تغییرات آن بالا و برابر ۵۴ درصد است. متوسط حداکثر لحظه‌ای در مقاطع زمانی چهار دهه اول، تغییرات چندانی نداشته و برابر ۲۷۷۰ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد اما دهه ۱۳۸۵-۹۵ این مقدار برابر ۱۲۳۰ مترمکعب بر ثانیه و کاهشی معادل ۵۸ درصد دارا می‌باشد. تحلیل آماری حجم سیلاب حداکثر روزانه رودخانه کارون بزرگ در ایستگاه



شکل ۴- متوسط حجم حداکثر روزانه در دوره‌های زمانی ده ساله ایستگاه هیدرومتری اهواز

Figure 4 – Average of maximum daily volume in ten-year periods of Ahvaz hydrometric station

ایستگاه هیدرومتری اهواز تفاوت معنی داری در سطح ۵ درصد (۰/۰۵) و حتی در سطح ۱ درصد (۰/۰۱) وجود دارد.

نتایج تحلیل واریانس دبی‌های حداکثر لحظه‌ای سیلاب نتایج تحلیل واریانس ارائه شده در جدول (۲) نشان می‌دهد که در مشاهدات بین میانگین سیلاب هر ۵ دهه،

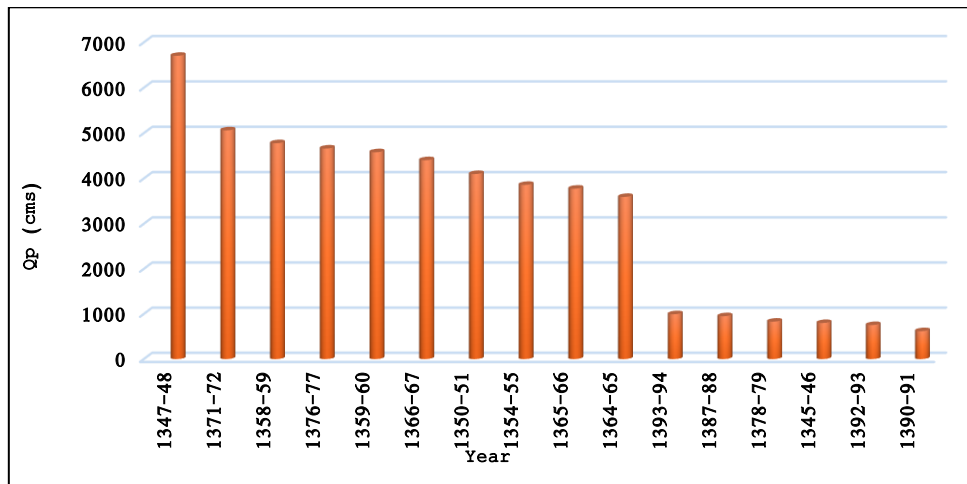
جدول ۲- نتایج تحلیل واریانس (ANOVA) گروه‌های ۵ گانه سیلاب در ایستگاه اهواز

Table 2- Results of analysis of variance (ANOVA) of the 5 flood groups at Ahvaz station

ANOVA		Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Ahvaz	Between Groups	20036973	4	5009243	3.347	.018
	Within Groups	67347098	45	1496602		
	Total	87384071	49			

در این رودخانه مشاهده شده است. بررسی سیلاب‌های با رتبه‌های اول تا دهم رودخانه کارون در محل ایستگاه هیدرومتری اهواز نشان می‌دهد که وقوع سیلاب‌ها به صورت تصادفی در سال‌های متفاوتی رخ داده اما بررسی سیلاب‌های با رتبه‌های پایین مثلاً ۴۵ تا ۵۰، نشان می‌دهد که اکثریت قریب به اتفاق آن‌ها تقریباً در دهه آخر دوره مورد مطالعه مصادف با خشکسالی‌های سال ۱۳۸۶ تا کنون است.

نتایج رتبه دبی‌های حداکثر لحظه‌ای سیلاب رتبه دبی سیلاب‌های حداکثر لحظه‌ای در ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه در شکل (۵) منعکس شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود بزرگترین سیلاب ثبت شده رودخانه کارون بزرگ در ایستگاه هیدرومتری اهواز به مقدار ۶۷۰۴ مترمکعب در ثانیه و در سال آبی ۱۳۴۷-۴۸ رخ داده است. سیلاب رتبه دوم به بزرگی ۵۰۶۲ مترمکعب در ثانیه و در سال آبی ۱۳۷۱-۷۲ و سیلاب رتبه سوم به بزرگی ۴۷۷۸ مترمکعب در ثانیه و در سال آبی ۱۳۵۸-۵۹

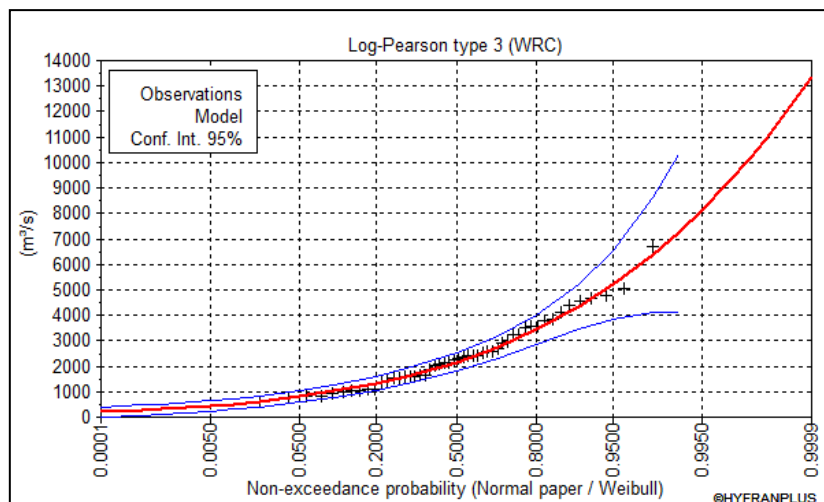


شکل ۵- دبی سیلاب‌های مهم حداکثر لحظه‌ای مرتب شده در ایستگاه هیدرومتری اهواز

Figure 5 - Flow rate of maximum floods at Ahvaz hydrometric station

رودخانه کارون بزرگ- اهواز در شکل (۶) و نتایج تحلیل
فراوانی سیلاب در جدول (۳) منعکس شده است.

تحلیل فراوانی سیلاب
نمونه توابع توزیع برازش شده بر دبی حداکثر لحظه‌ای



شکل ۶- تابع توزیع برازش شده بر دبی حداکثر لحظه‌ای رودخانه کارون بزرگ- اهواز

Figure 6- Distribution function fitted to the maximum instantaneous discharge of the Great Karun River-Ahvaz

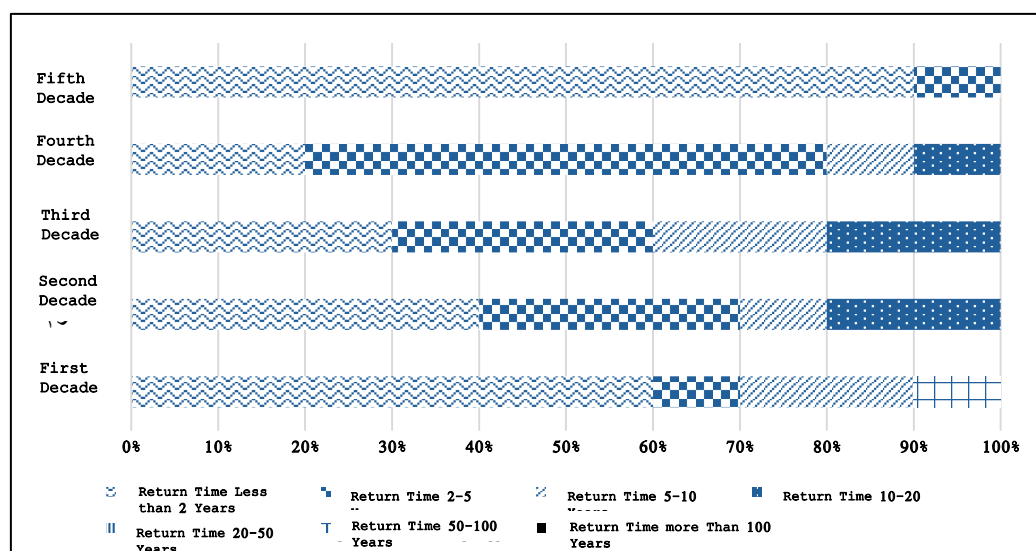
جدول ۳- دبی با دوره‌های بازگشت مختلف سیلاب در ایستگاه هیدرومتری اهواز

Table 3- Discharge with different flood return periods at Ahvaz hydrometric station

River	Karun Bozorg
Station	Ahvaz
Function Type	Pearson Type 3
Estimation Method	WRC
(Chi) X^2	7.24
Period (Years)	Peak Flow (m ³ /s)
100	7220
50	6350
20	5190
10	4320
5	3440
3	2760
2	2170

ثانیه می‌باشد. بر اساس دوره بازگشت‌های سیلاب در ایستگاه هیدرومتری اهواز، نمودار توزیع دبی‌های پیک سالانه در هر یک از ۵ دهه مطالعاتی بر اساس دوره بازگشت آنها ترسیم شد (شکل ۷).

تحلیل فراوانی سیلاب رودخانه کارون بزرگ در ایستگاه هیدرومتری اهواز نشان می‌دهد که سیلاب با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب برابر ۲۱۷۰، ۳۴۴۰، ۴۳۲۰، ۵۱۹۰، ۶۳۵۰ و ۷۲۲۰ مترمکعب بر



شکل ۷- توزیع فراوانی وقوع دبی‌های پیک سالانه بر اساس دوره بازگشت

Figure 7- Frequency distribution of annual peak discharges based on return period

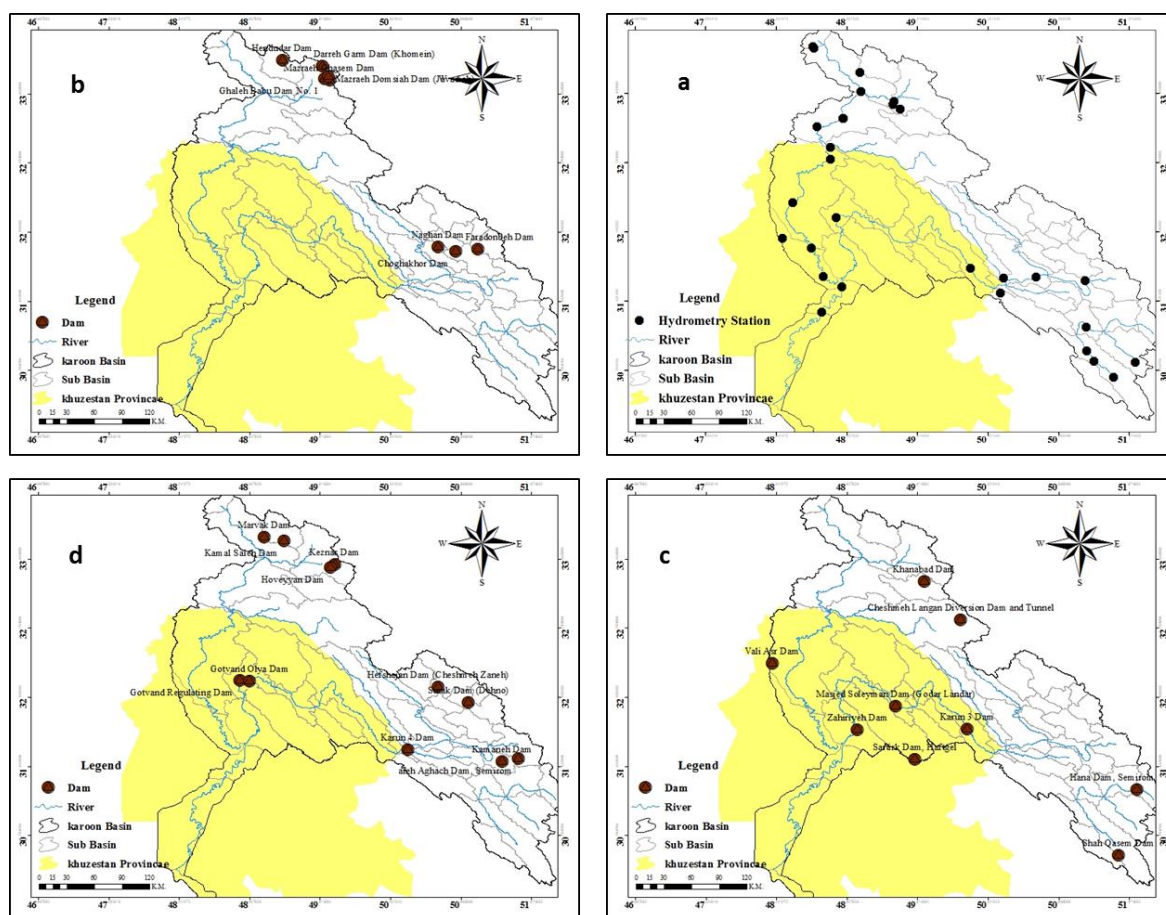
شکل ۹). مهم‌ترین سدها و سازه‌های احداثی بر این رودخانه شامل سد شهید عباسپور (کارون ۱) که یکی از مهم‌ترین سدهای برق‌آبی ایران که در سال ۱۳۵۵ به بهره‌برداری رسید و نقش مؤثری در تولید برق و کنترل سیلاب دارد. سد بعدی سد گتوند بود که این سد که به‌منظور

سدها

بررسی تغییرات دهه‌ای سدهای در دست بهره‌برداری نشان داد که غالب سدها در این حوضه در دو دهه آخر مورد بهره‌برداری قرار گرفته است و در دهه ۵۴-۱۳۴۵ در حوضه سدی احداث نگردیده است (شکل ۸، الف تا د و

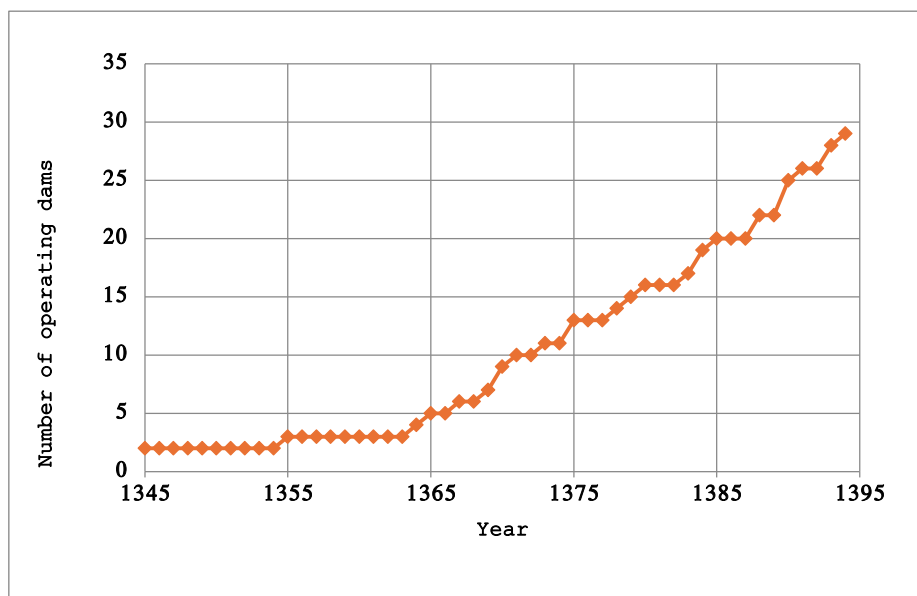
بهره‌برداری رسید و نقش مهمی در تنظیم جریان رودخانه ایفا می‌کند. سایر سازه‌ها غالباً به صورت بندهای انحرافی، کانال‌های انتقال آب و ایستگاه‌های پمپاژ نیز در این رودخانه احداث شده‌اند که در مدیریت منابع آب و مصارف کشاورزی و صنعتی مؤثر هستند.

ذخیره آب، تولید برق و مدیریت جریان رودخانه احداث شده، به دلیل مشکلات ناشی از شوری مخزن، بحث‌برانگیز بوده است. سد مسجدسلیمان (کارون ۳) که این سد نیز یک سد برق‌آبی با هدف تولید انرژی و کنترل سیلاب در سال ۱۳۸۴ احداث شد. و در نهایت سد کارون ۴ یکی از جدیدترین سدهای این حوضه می‌باشد که در سال ۱۳۹۰ به



شکل ۸- موقعیت و تعداد سدهای در دست بهره‌داری در بازه زمانی (a: ۱۳۵۵-۶۴؛ b: ۱۳۶۵-۷۴؛ c: ۱۳۷۵-۸۴؛ d: ۱۳۸۵-۹۴)

Figure 8- Location and number of dams in operation until 1966 (a: 1976-1985; b: 1986-1995; c: 1996-2004; d: 2005-2014)

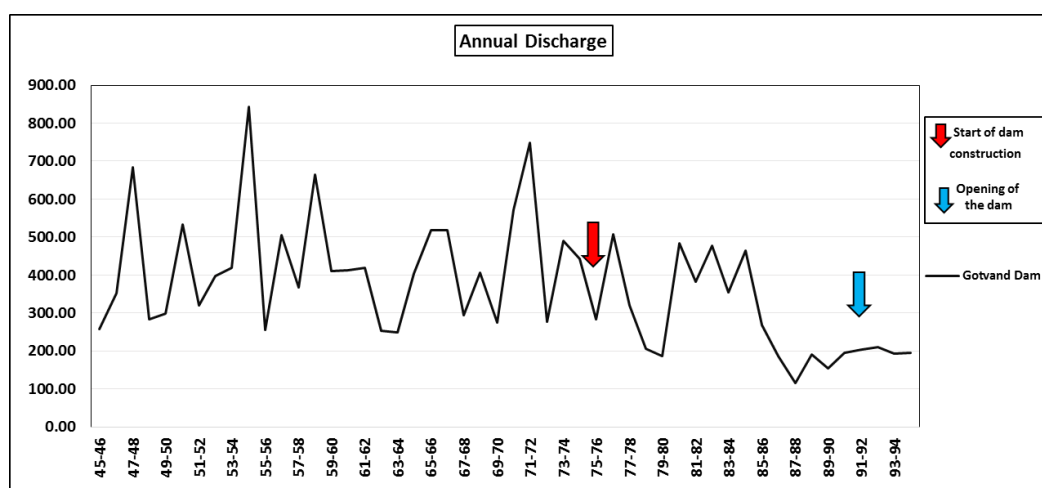


شکل ۹- تغییرات تعداد سدهای بهره برداری شده طی سال‌های مختلف در حوضه کارون

Figure 9 - Changes in the number of dams operated over different years in the Karun Basin

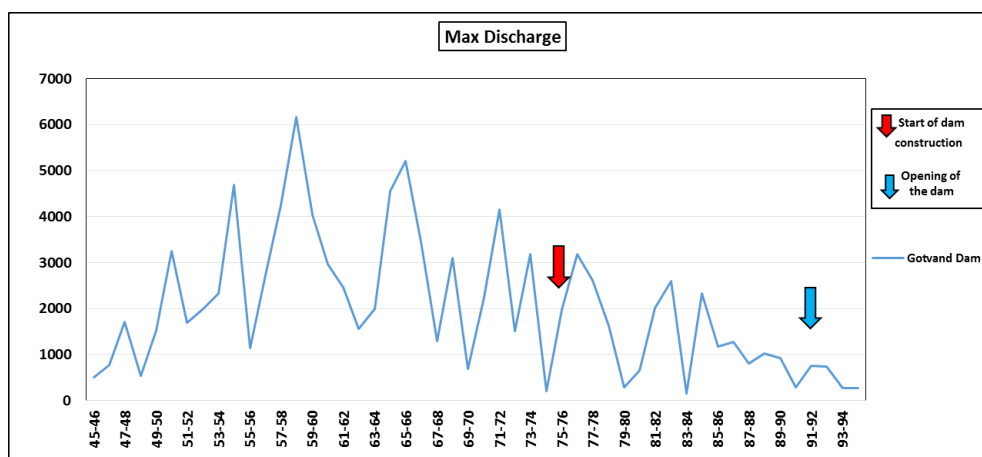
بازه زمانی موجود نمایش می‌دهد. همچنین در این دو نمودار سال شروع به ساخت و سال افتتاح سد نمایش داده شده است.

تأثیر سد گتوند بر رژیم رودخانه کارون
شکل‌های (۱۰ و ۱۱) به ترتیب نمودارهای تغییرات دبی متوسط سالانه و دبی حداکثر لحظه‌ای را در ایستگاه هیدرومتری گتوند (واقع در پایین دست سد گتوند علیا) در



شکل ۱۰- تغییرات دبی متوسط سالانه در ایستگاه هیدرومتری گتوند

Figure 10- Changes in average annual discharge at Gotvand hydrometric station

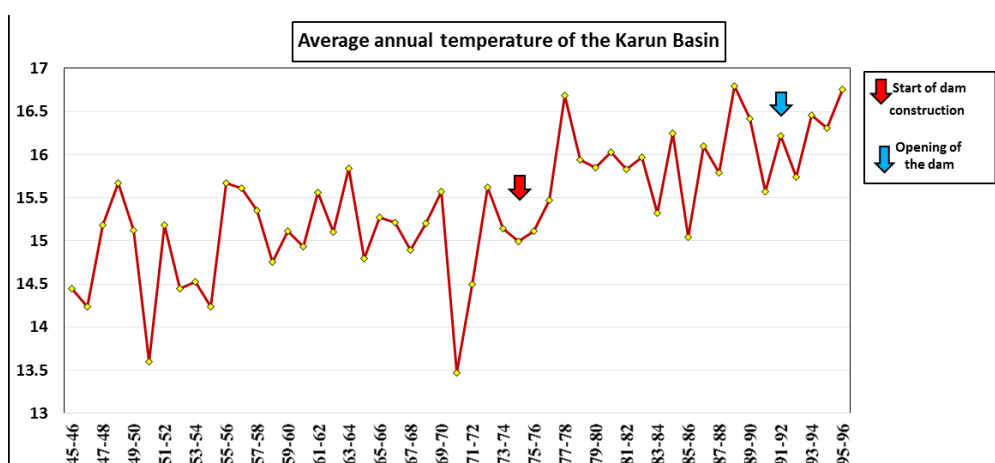


شکل ۱۱- تغییرات دبی حداکثر لحظه‌ای در ایستگاه هیدرومتری گتوند

Figure 11 - Changes in the maximum instantaneous flow rate at the Gotvand hydrometric station

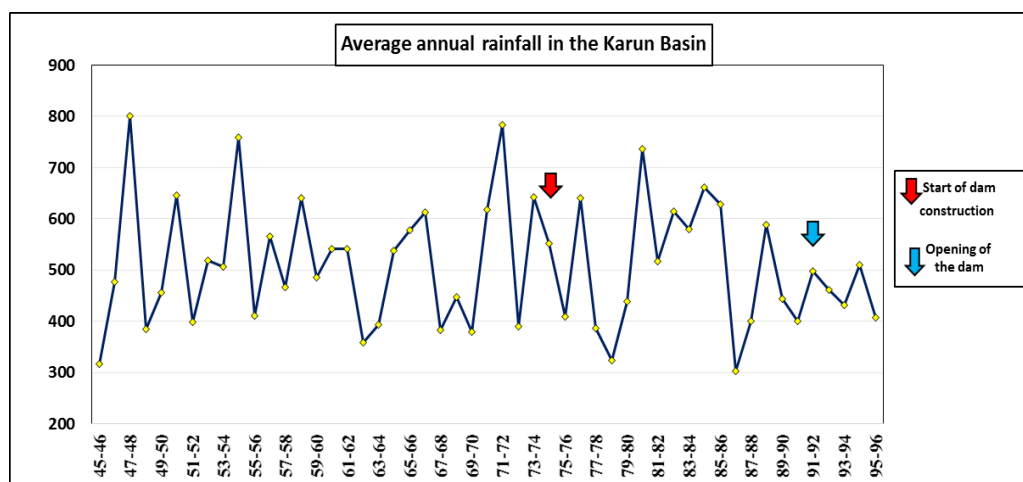
تحت تأثیر احداث سد گتوند علیا نبوده است؛ نمودارهای تغییرات دما و بارش حوضه کارون، افزایش شدید دما را از سال ۷۶-۷۷ و کاهش بارش را از سال ۸۶-۸۵ نشان می‌دهد که تأییدکننده اثرگذاری تغییرات اقلیمی بر دبی رودخانه است (شکل‌های ۱۲ و ۱۳). اما حالت خطی و افقی نمودار دبی متوسط سالانه بعد از احداث سد گتوند، نشان می‌دهد که اگرچه کاهش دبی تحت تأثیر احداث سد نبوده اما مدیریت دبی رودخانه کارون در محل سد به صورت تنظیمی انجام می‌شود.

شکل (۱۰) نشان می‌دهد که روند کلی تغییرات دبی متوسط سالانه در ایستگاه هیدرومتری گتوند واقع در پایین دست سد گتوند علیا، در بازه زمانی ۵۰ ساله کاهشی بوده است. با توجه به اینکه قبل از آگیری سد گتوند (در سال ۱۳۹۱) شاهد کاهش شدید دبی در ایستگاه هیدرومتری بعد از سد (ایستگاه گتوند) بوده‌ایم، همچنین شروع کاهش دبی متوسط سالانه از سال ۸۵-۸۶ مشاهده می‌شود که همزمانی با وقوع خشکسالی‌های اقلیمی دارد، لذا کاهش شدید دبی متوسط سالانه در ایستگاه هیدرومتری گتوند بطور مشخص



شکل ۱۲- تغییرات دمای متوسط سالانه در حوضه کارون

Figure 12- Changes in average annual temperature in the Karun Basin



شکل ۱۳- تغییرات بارش متوسط سالانه در حوضه کارون

Figure 13- Changes in average annual precipitation in the Karun Basin

در دهه دوم (۶۵-۱۳۵۶) بیشترین مساحت حوضه با ۶۳ درصد دارای شرایط نرمال و ۱۸ درصد دارای شرایط ترسالی بوده است و تقریباً ۱۹ درصد حوضه تحت تأثیر خشکسالی که بیشتر از نوع خفیف است قرار گرفته است (شکل ۱۰، ب).

در دهه سوم (۷۵-۱۳۶۶) تقریباً حوضه با پرابی مواجه بوده به طوری که ۷۲ درصد حوضه با انواع ترسالی و ۲۷ درصد با شرایط نرمال همراه بوده است و کمتر از ۱ درصد حوضه دچار خشکسالی شده است (شکل ۱۰، ج).

در دهه چهارم (۸۵-۱۳۷۶) شرایط نرمال بر حوضه غالب بوده و پس از شرایط نرمال خشکسالی خفیف بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است. تنها ۱۴ درصد حوضه با ترسالی آن هم ترسالی خفیف مواجه بوده است در مجموع شرایط به سمت خشکسالی سوق داده شده است (شکل ۱۰، د).

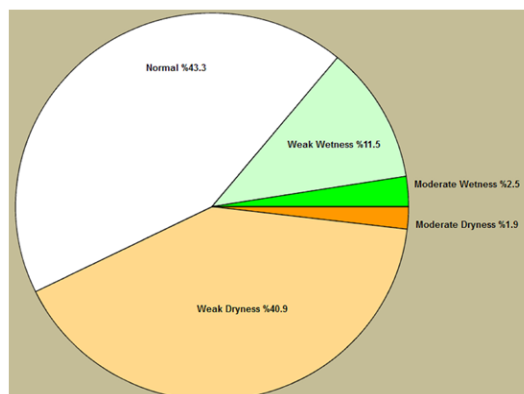
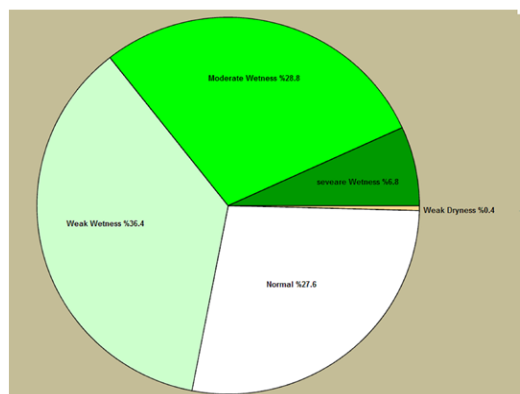
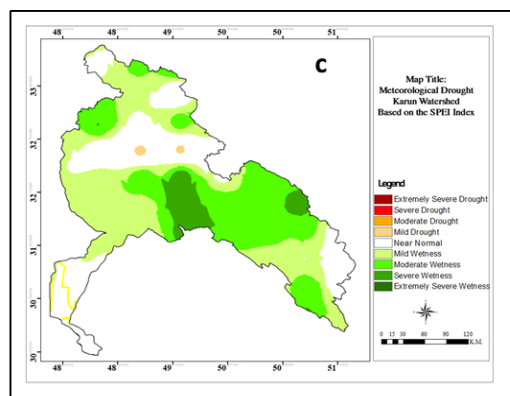
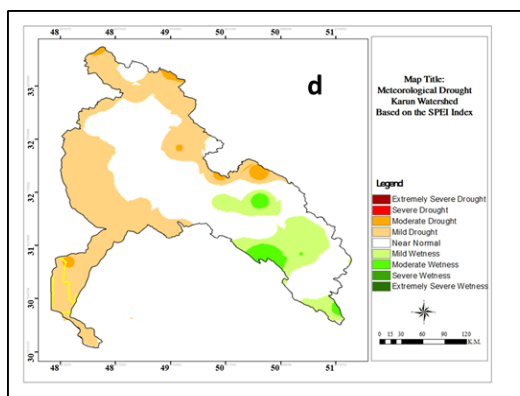
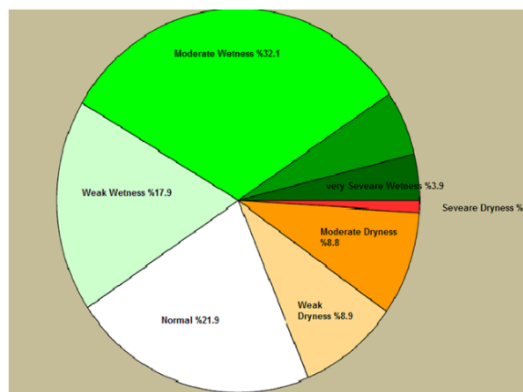
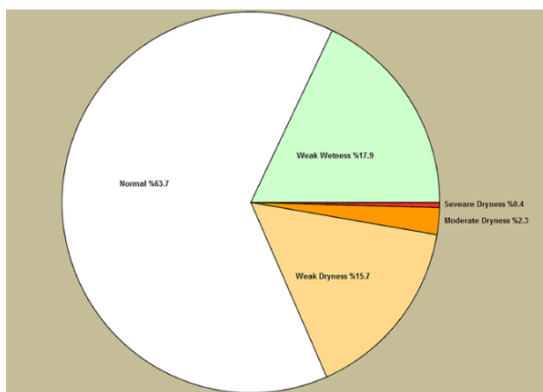
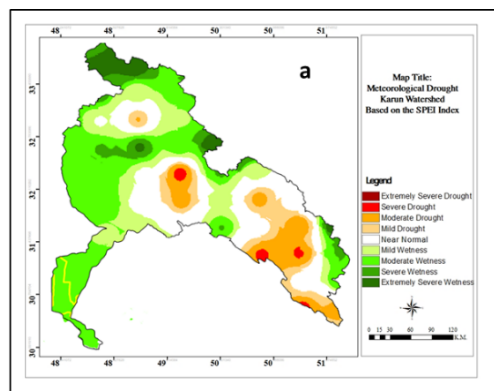
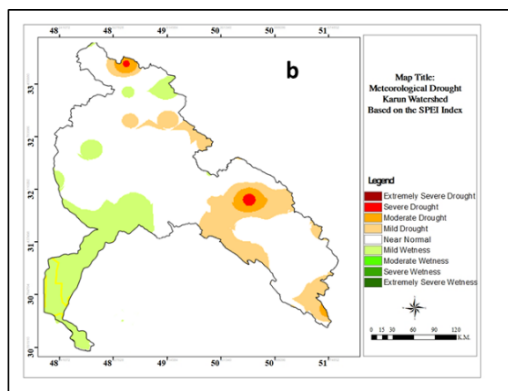
دهه پنجم (۹۵-۱۳۸۶) شرایط غالب خشکسالی بوده است تقریباً ۵۳ درصد حوضه با شرایط خشکسالی شدید، ۱۳ درصد شرایط خشکسالی بسیار شدید و ۲۹ درصد خشکسالی متوسط و ضعیف همراه بوده است. در محدوده بسیار کوچکی در حدود ۱ درصد شرایط ترسالی و در کمتر از ۵ درصد شرایط نرمال بوده است (شکل ۱۰، ه).

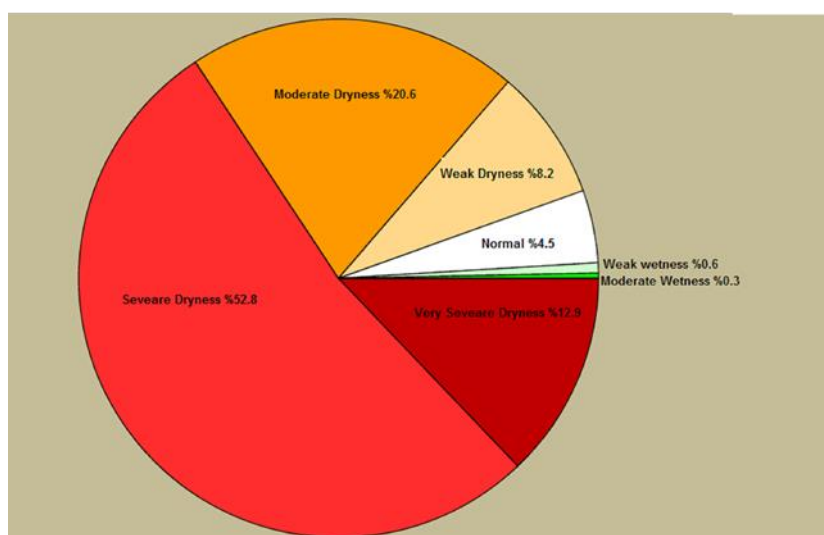
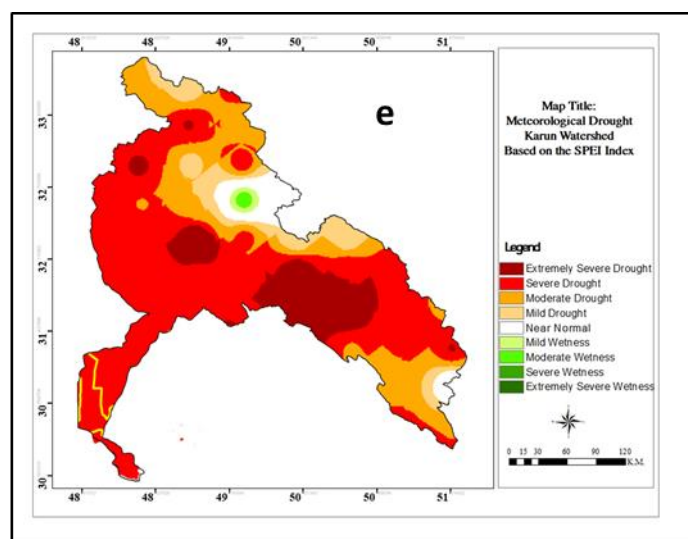
روند تغییرات دبی‌های پیک سیلابی نیز کاملاً با روند تغییرات دبی‌های متوسط سالانه مطابقت داشته و از سال ۱۳۸۵-۸۶ پیک‌های لحظه‌ای سیلابی کاهش شدیدی داشته‌اند. اما حالت خطی و افقی نمودار دبی‌های پیک سیلابی بعد از احداث سد گتوند، نشان می‌دهد که اگرچه کاهش کلی دبی تحت تأثیر احداث سد نبوده اما مدیریت دبی رودخانه کارون در محل سد به صورت تنظیمی انجام می‌شود.

خشکسالی هواشناسی

بررسی رخدادهای خشکسالی و ترسالی سالانه حوضه آبخیز کارون بزرگ طی پنج دهه مورد مطالعه نشان می‌دهد که در دهه‌های اول سیکل‌های کوچک خشکسالی و ترسالی به تناوب رخ داده است، اما در دهه اخیر با توجه به روند افزایش دما در این حوضه بر فراوانی و شدت خشکسالی‌ها افزوده شده است. در ادامه وضعیت خشکسالی پنج دهه به تفکیک مورد بررسی قرار گرفت.

در دهه اول (۵۵-۱۳۴۶) ۱۸ درصد مساحت حوضه تحت تأثیر انواع خشکسالی و تقریباً ۲۲ درصد دارای شرایط نرمال بوده است. ۶۰ درصد مساحت کل حوضه نیز در شرایط انواع ترسالی قرار گرفته است (شکل ۱۰، الف).





شکل ۱۰- پهنه‌بندی و مساحت خشکسالی در پنج دهه مورد مطالعه در حوضه آبخیز کارون

Figure 10 - Drought zoning and area in the five decades studied in the Karun watershed

بحث

ناشی از مدیریت مخازن سدهای احداث شده در مسیر رودخانه باشد که با کنترل جریان‌های ورودی، از وقوع سیلاب‌های بزرگ در پایین دست جلوگیری کرده‌اند. بررسی تغییرات خشکسالی با استفاده از شاخص SPEI نشان داد که در دوره‌های خشکسالی، کاهش جریان پایه رودخانه و افزایش نوسانات دبی می‌تواند بر شدت و فراوانی سیلاب‌های ناگهانی پس از بارش‌های شدید تأثیر بگذارد. این پدیده در سال‌هایی که پس از یک دوره خشکسالی بارش‌های شدید رخ داده‌اند، به وضوح مشاهده شد. چنین

نتایج حاصل از تحلیل ۵۰ ساله (۱۳۴۵-۱۳۹۵) تغییرات سیلاب‌های حداکثر رودخانه کارون نشان می‌دهد که رژیم هیدرولوژیکی این رودخانه تحت تأثیر دو عامل کلیدی یعنی خشکسالی و احداث سازه‌های آبی، دستخوش تغییرات چشمگیری شده است. تحلیل‌های آماری بر روی داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه هیدرومتری اهواز نشان می‌دهد که در طول این دوره، روندی کاهشی در دبی‌های اوج سیلابی مشاهده شده است. این کاهش می‌تواند

شرایطی نشان‌دهنده افزایش ریسک وقوع سیلاب‌های ناگهانی در بازه‌های زمانی خاص، به‌ویژه پس از دوره‌های خشک، است. بررسی این شاخص در حوضه کارون بزرگ نشان داد در دهه اخیر ۵۳ درصد حوضه با شرایط خشکسالی شدید و ۱۳ درصد شرایط خشکسالی بسیار شدید و ۲۹ درصد خشکسالی متوسط و ضعیف همراه بوده است و در محدوده بسیار کوچکی در حدود ۱ درصد شرایط ترسالی و در کمتر از ۵ درصد شرایط نرمال بوده است. در حوضه کرخه کاهش بارش و از سویی افزایش دما شرایط این دهه را به شرایط فوق بحرانی تبدیل کرده است. کل مساحت حوضه با انواع خشکسالی همراه است. خشکسالی متوسط ۵۳ درصد، خشکسالی شدید، حدوداً ۴۲ درصد و خشکسالی خفیف ۳ درصد و خشکسالی بسیار شدید حدوداً ۲ درصد را به خود اختصاص داده است. تحلیل روند احداث سدها در حوضه آبخیز کارون نیز نشان داد که توسعه سدسازی در طول این دوره تأثیر قابل‌توجهی بر کاهش دبی‌های حداکثر داشته است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که پس از احداث سدهای بزرگ از جمله سدهای کارون ۱، ۳ و ۴، میزان دبی‌های اوج در ایستگاه هیدرومتری اهواز کاهش محسوسی داشته است. این کاهش نشان‌دهنده نقش سازه‌های کنترلی در مدیریت سیلاب‌ها و تنظیم جریان‌های خروجی است. با این حال، در برخی موارد، تغییر در رژیم جریان و تأخیر در تخلیه مخازن می‌تواند موجب افزایش خطر وقوع سیلاب‌های ناگهانی شود، به‌ویژه در مواقعی که ظرفیت مخازن به دلیل رسوب‌گذاری کاهش یافته است. به‌طور کلی، یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که خشکسالی و احداث سدها تأثیرات متقابلی بر الگوی سیلاب‌های حداکثر رودخانه کارون داشته‌اند.

تشکر و قدردانی

با توجه به اینکه این مطالعه برگرفته از طرح "مطالعه جامع شناخت عوامل و راهکارهای کنترل پدیده گرد و غبار استان خوزستان" می‌باشد که در موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور انجام گرفته است، از دست اندرکاران این طرح، قدردانی می‌گردد.

References

- Akter, T., Quevauviller, P., Eisenreich, S. J., & Vaes, G. 2018. Impacts of climate and land use changes on flood risk management for the Schijn River, Belgium. *Science of the Total Environment*, 89(11): 163-175. [Doi: 10.1016/j.envsci.2018.07.002](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.07.002)
- Brunner, M.I. 2023. Floods and droughts: a multivariate perspective. *Hydrology and Earth System*

- Sciences* 27(13): 2479-2497. [Doi: 10.5194/hess-27-2479-2023](https://doi.org/10.5194/hess-27-2479-2023)
- Fesahat, V., Sadatinejad, S.J., Honarbakhsh, A. and Samadi-Boroujeni, H. 2015. Influence of Storage Dam Construction on Downstream Flood Reduction. *J Watershed Manage Res.* 5(10): 44-55. (In Persian) <https://sid.ir/paper/230350/en>
- Gao, C., Zhang, Z., Zhai, J., Qing, L., & Mengting, Y.

2015. Research on meteorological thresholds of drought and flood disaster: a case study in the Huai River Basin, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 29: 157-167. [Doi: 10.1007/s00477-014-0985-7](https://doi.org/10.1007/s00477-014-0985-7)
- Haddeland, Ingjerd & Clark, Douglas & Franssen, Wietse & Ludwig, Fulco & Voß, Frank & Arnell, Nigel & Bertrand, Nathalie & Best, Martin & Folwell, Sonja & Gerten, Dieter & Gomes, S. & Gosling, Simon & Hagemann, Stefan & Hanasaki, Naota & Harding, Richard & Heinke, Jens & Kabat, Pavel & Koirala, Sujun & Oki, Taikan & Yeh, Jun-Jun. 2011. Multimodel Estimate of the Global Terrestrial Water Balance: Setup and First Results. *Journal of Hydrometeorology*. 12: 869-884. [Doi: 10.1175/JHM-D-10-05013.1](https://doi.org/10.1175/JHM-D-10-05013.1)
- Hashemi, S.A. and Ghazariyan, S. 2014. The effect of sedimentation in rock check dam reservoirs on the peak of flood in small watersheds. *Watershed engineering and management*, 6(2): 115-124. (In Persian) <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2014.101720>
- Jonathan, A., Smith, B. and Lee, C., 2018. Impact of dams on flood intensity and frequency: A review. *Journal of Hydrology*
- Kashki, A and Ghorbani, H. 2024. Evaluation of long-term changes in the characteristics of drought and flood risks in the basin of southeastern Iran. *Journal of the Climate Change Research*, 5(19): 55-74. (In Persian) [Doi: 10.30488/CCR.2024.461031.1224](https://doi.org/10.30488/CCR.2024.461031.1224)
- Mishra, A.K. Singh, V. P. 2011. Drought modeling – A review, *Journal of Hydrology*, Volume 403, Issues 1–2: 157-175. [Doi: 10.1016/j.jhydrol.2011.03.049](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.03.049)
- Razavizadeh, S. 2022. Flood modeling due to recognition the high flood risk zones. Final report of research, Agricultural Research, Education & Extension Organization. (In Persian)
- Remo, J. W., Ickes, B. S., Ryherd, J. K., Guida, R. J., & Therrell, M. D. 2018. Assessing the impacts of dams and levees on the hydrologic record of the Middle and Lower Mississippi River, USA. *Geomorphology*, 313, 88-100. [Doi: 10.1016/j.geomorph.2018.01.004](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.01.004)
- Vicente-Serrano, S., 2010. Understanding drought dynamics: A review. *Hydrological Sciences Journal*, 55(4), 535–548.
- Ward, P. J., de Ruiter, M. C., Mård, J., Schröter, K., Van Loon, A., Veldkamp, T. and Wens, M. 2020. The need to integrate flood and drought disaster risk reduction strategies. *Water Security*, 11, 100070. [Doi:10.1016/j.wasec.2020.100070](https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100070)
- Zhang, X., Hao, Z., Singh, V. P., Zhang, Y., Feng, S., Xu, Y., & Hao, F. (2022). Drought propagation under global warming: Characteristics, approaches, processes, and controlling factors. *Science of the Total Environment*, 838, 156021. [Doi:10.1016/j.scitotenv.2022.156021](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156021)