نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۶، ص. ۲۷-۱۱

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 1, Mar.-Apr. 2017, p. 11-27

# اثرات احداث سدهای بزرگ بر شرایط جریان و پارامترهای هیدرولیکی رودخانه (مطالعه موردی: رودخانه کرخه پایین‌دست سد مخزنی)

فرهنگ آذرنگ[1*] – عبدالرسول تلوری[2] – حسین صدقی[3] – محمود شفاعی بجستان[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۱۶

## چکیده

با توجه به اهمیت رودخانه‌ها در تأمین آب، شناخت شرایط جریان و رژیم هیدرولیکی آن‌ها از اهمیت به سزایی برخوردار است. سازه‌های هیدرولیکی تأثیرات گسترده‌ای بر شرایط هیدرولیکی رودخانه در پایین دست خود دارند. سدهای مخزنی به عنوان مهم‌ترین سازه‌های هیدرولیکی ساخته شده بر روی رودخانه‌ها، تغییرات مضاعفی بر شرایط رژیم جریان در پایین‌دست می‌گذارند. حوضه آبریز کرخه یکی از مهمترین حوضه‌های کشور و رودخانه کرخه سومین رود بزرگ ایران است. سد مخزنی کرخه به عنوان بزرگ‌ترین سد ایران و خاورمیانه، پایین‌دست رودخانه کرخه را تحت تأثیر خود قرار داده است. در این پژوهش ارزیابی دقیقی بر تغییر رژیم جریان رودخانه از حالت طبیعی به تنظیمی انجام شده است. بازه مورد مطالعه در پایین‌دست سد مخزنی کرخه واقع شده است. همچنین از اطلاعات دو ایستگاه آب‌سنجی پای پل و عبدالخان استفاده شد. مدل HEC-RAS برای شبیه‌سازی شرایط جریان قبل و بعد از احداث سد به کار رفت. آبدهی متوسط ماهانه، سالیانه، دبی حداکثر لحظه‌ای، پروفیل سطح آب و کلیه پارامترهای هیدرولیکی رودخانه کرخه در این بازه مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به احداث سد مخزنی کرخه، تغییرات اقلیمی و کاهش بارندگی در سطح حوضه آبریز کرخه و پی‌آمد آن خشکسالی‌های اخیر تغییرات گسترده‌ای در شرایط رژیم جریان رودخانه کرخه و پارامترهای هیدرولیکی آن به وجود آمده است. به طور مثال می‌توان گفت که در این پژوهش درصد مقادیر تغییر پارامترهای هیدرولیکی در مقاطع عرضی مختلف رودخانه کرخه به ازای دبی‌های مشخصه حداقل، متوسط و حداکثر قبل و بعد از ساخت سد محاسبه گردیده است که نشان‌دهنده‌ی کاهش چشمگیر آن پارامترها در اثر احداث سد می‌باشد. به طور نمونه در مورد شعاع هیدرولیکی به عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای هیدرولیکی رودخانه می‌توان بیان نمود که درصد میزان کاهش این پارامتر نسبت به شرایط قبل از ساخت سد به ازای دبی‌های مشخصه حداقل، متوسط و حداکثر به ترتیب ۳۳ درصد، ۲۸ درصد و ۵۹ درصد کاهش را نشان می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** حوضه آبریز، ایستگاه آب‌سنجی، پروفیل سطح آب، دبی مشخصه، شعاع هیدرولیکی

## مقدمه

رودخانه‌ها مهم‌ترین منبع تأمین آب برای مصارف مختلف از جمله شرب، صنعت و کشاورزی می‌باشند. شناخت شرایط هر رودخانه‌ای در برنامه‌ریزی منابع آب، احداث سازه‌های هیدرولیکی و تأمین مصارف بخش‌های مختلف دارای اهمیت می‌باشد. یکی از این مطالعه‌ها، شناخت شرایط رژیم جریان رودخانه است که می‌تواند معیاری مناسب در مورد بررسی هر چه بهتر شرایط رودخانه باشد. شناخت یک رودخانه به تنهایی و با در نظر گرفتن شرایط طبیعی آن بسیار مهم است، حال می‌توان اهمیت دو چندان این شناخت را زمانی درک نمود که شرایط یک رودخانه از حالت طبیعی خود خارج می‌شود و دستخوش تغییراتی غیرطبیعی می‌گردد. این تغییرات ناشی از سازه-های هیدورلیکی عظیم از جمله سدهای بزرگ هستند. سدها در واقع جریان طبیعی رودخانه را به جریان تنظیمی تبدیل کرده و باعث تغییرات گسترده‌ای در پارامترهای هیدرولیکی رودخانه می‌شوند. به بیان دیگر، با احداث سازه‌های هیدرولیکی عظیمی مانند سدهای مخزنی زمینه‌ی تغییرات مضاعف بر شرایط رودخانه‌ها به خصوص در پایین‌دست این سازه‌ها به وجود (۳). می‌توان ادعا کرد که بهره‌برداری از سدهایی با مخازن حجیم اثرات فراوانی بر شرایط جریان در

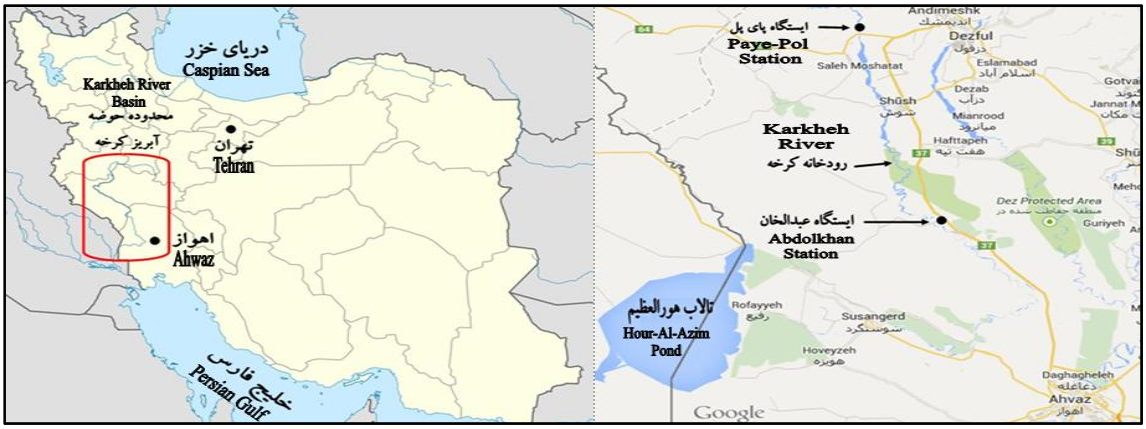
۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: f.azarang@srbiau.ac.ir
۲ - دانشیار گروه مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز
۳- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران
۴- استاد دانشکده علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز
DOI: 10.22067/jsw.v31i1.48743

پایین‌دست رودخانه‌ها دارد. در سراسر جهان مطالعه شرایط رژیم هیدرولیکی رودخانه‌ها قبل و بعد از ساخت سد از موضوعات مهم قلمداد می‌شود. به طور نمونه، سانگ‌چوی و همکاران (۵) اثرات احداث سد هاپ‌چون را بر تغییر رژیم جریان رودخانه وانگ در کشور کره جنوبی را بررسی کردند، آن‌ها دریافتند که احداث سد موجب تغییرات مهمی در رژیم هیدرولیکی جریان در پایین‌دست شده است. مگیلیگان و همکاران (۹) در آمریکا تغییرات رژیم هیدرولوژیکی ناشی از احداث سدها بر رودخانه را مطالعه نمودند، تغییرات هیدروگراف در مقیاس‌های ماهانه و سالانه از اثرات احداث سدها بوده است. گراف (۷) بررسی اثرات هیدرولوژیکی سدهای بزرگ بر رودخانه‌های آمریکا را انجام داد، وی مقایسه‌ای بین جریان‌های طبیعی و تنظیم شده صورت داد و مقدار کاهش دبی‌ها را بین ۶۷ درصد تا ۹۰ درصد تعیین کرد. یان و همکاران (۱۴) تأثیر ساخت سد بر رژیم جریان در پایین-دست رودخانه زرد را بررسی کردند و دریافتند که کاهش شدیدی در جریان رودخانه با مقیاس‌های زمانی گوناگون ایجاد شده است. استیوفر و همکاران (۱۲) نیز اثرات جریان تنظیمی ناشی از احداث سد بر رودخانه یسینی کشور روسیه را مطالعه کردند و کاهش دبی متوسط سالیانه رودخانه را از اثرات ساخت سد معرفی کردند.

در کشور ما ایران با توجه به تغییرات اقلیمی و افزایش دما، کاهش شدید بارش‌های جوی و خشکسالی‌های اخیر شاهد تقلیل آب ورودی به مخازن سدها و پی‌آمد آن کم‌تر شدن آب رها شده از دریچه‌ها به سمت پایین‌دست می‌باشیم، لذا همواره ضرورت مطالعه و بررسی شرایط رژیم جریان رودخانه‌ها و متغیرهای هیدرولیکی آن‌ها به منظور تصمیم‌گیری در مدیریت کلان آب کشور احساس می‌شود. استان خوزستان در گذشته‌ای نه چندان دور دارای رودخانه‌های پرآبی مانند کارون، دز و کرخه بوده است که امروزه کمتر شاهد جریان‌های عظیم و سیل‌های بزرگ در حوضه‌های آبریز این رودخانه‌ها هستیم، که علت کاهش جریان‌های سطحی به علل ذکر شده است. استان خوزستان همواره در بخش‌های کشاورزی و صنعت پیشگام بوده است. با توجه به نیاز آبی و مصارف آب در بخش‌های مختلف استان خوزستان از جمله کشاورزی و صنعت لزوم استفاده‌ی بهینه از منابع آب موجود با توجه به کاهش میزان جریان رودخانه‌های مهم استان اجتناب‌ناپذیر است. رودخانه کرخه با توجه به تأمین آب شرب شهرهای مختلف، واحدهای صنعتی و کارخانجات و همچنین تأمین نیاز آب بخش کشاورزی و آبیاری طرح‌های عظیم کشاورزی خوزستان از جمله طرح ۳۴۰ هزار هکتاری (بخشی از طرح ۵۵۰ هزار هکتاری احیای زمین‌های استان‌های خوزستان و ایلام) دارای اهمیت فراوانی می‌باشد و لزوم شناخت شرایط جریان رودخانه کرخه در خصوص پیش‌بینی شرایط آینده‌ی آن و تأمین آب مورد نیاز پروژه‌ها امری مهم قلمداد می‌شود. به همین منظور برای درک بهتر شرایط موجود و بررسی مسأله، این تحقیق با هدف مقایسه شرایط جریان رودخانه کرخه در شرایط قبل و بعد از احداث سد مخزنی صورت می‌گیرد. با توجه به اهمیت فراوان رودخانه کرخه در تأمین آب استان خوزستان و تأثیرات گسترده و کاهش چشمگیر جریان این رودخانه با بهره‌برداری از سد مخزنی در پایین‌دست لزوم پژوهشی در زمینه‌ی اثرات احداث سد مخزنی کرخه بر شرایط جریان رودخانه به شدت احساس می‌شود، از این رو در این مقاله به بررسی شرایط جریان و پارامترهای هیدرولیکی رودخانه کرخه در شرایط قبل و بعد از ساخت سد مخزنی پرداخته شده است.

## مواد و روش‌ها

حوضه آبریز کرخه یکی از حوضه‌های مهم کشور است که در بخش جنوب غربی قرار گرفته است. متوسط سالیانه ریزش‌های جوی در حوضه آبریز کرخه از ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر متغیر بوده به طوری که نیمی از کل بارندگی سالیانه در زمستان نازل شده و پس از آن بیشترین بارندگی مربوط به فصول پاییز و بهار می‌باشد.




**شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز کرخه در کشور (چپ) و بازه مورد مطالعه در تحقیق (راست)**

**Figure 1- Location of Karkheh Catchment in Iran (Left), Studied river reach of Karkheh (Right)**

زیرحوضه‌های آن به نام‌های گاماسیاب، قره‌سو، سیمره، کشکان و کرخه پایینی می‌باشد (۸)، (۱۰). شکل ۱ موقعیت حوضه آبریز کرخه و بازه مورد مطالعه در تحقیق را نشان می‌دهد.

## سد مخزنی کرخه

سد مخزنی کرخه یکی از بزرگترین سدهای خاکی دنیا به شمار می‌رود. این سازه هیدرولیکی عظیم در استان خوزستان و در ۲۱ کیلومتری شمال غربی شهرستان اندیمشک بر روی رودخانه کرخه و در جوار رشته کوه‌های زاگرس واقع شده است. مشخصات این سد بزرگ به صورت جدول ۱ اراده شده است.

این سد با سه هدف زیر ساخته شده است:

کنترل جریان‌های سیلابی رودخانه کرخه

تأمین آب مورد نیاز کشاورزی استان خوزستان به وسعت ۳۴۰ هزار هکتار

تأمین انرژی برق‌آبی به میزان ۹۳۴ گیگا وات ساعت در سال

شکل ۲ نمایی از سد مخزنی کرخه را نمایش می‌دهد.

**جدول ۱- مشخصات سد مخزنی کرخه**

**Table 1- Characteristics of Karkheh Reservoir Dam**

| نوع سرریز Type of Spillway | ظرفیت تخلیه سرریز (مترمکعب بر ثانیه) Spillway Capacity | حجم کل مخزن (میلیارد مترمکعب) Total Volume of the Reservoir | ارتفاع از پی (متر) Height of the Dam Foundation | طول تاج (متر) Length of Crest | سال بهره‌برداری Utilization | نوع سد Type of Dam |
|---|---|---|---|---|---|---|
| اوجی با شوت دریچه دار Ogee with Gate Chute | 18260 | 5/3 | 127 | 3030 | 1379 | خاکی با هسته رسی Fill Dam with Clay Core |

**شکل ۲- نمایی از سد مخزنی کرخه**

**Figure 2- Karkheh Reservoir Dam**

## رودخانه کرخه

رودخانه کرخه سومین رود پر آب ایران بعد از کارون و دز و سومین رود طویل ایران بعد از کارون و سفیدرود می‌باشد. سرشاخه اصلی آن به نام‌های گاماسیاب، قره‌سو و کشکان است. طول رودخانه کرخه ۱۰۸۸ کیلومتر و عرض متوسط آن بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر متغیر می‌باشد (۲).

بازه مورد مطالعه در تحقیق

بازه‌ای از رودخانه‌ی کرخه که در این تحقیق مورد مطالعه قرار می‌گیرد در پایین‌دست سد مخزنی کرخه قرار گرفته است. این بازه به طول تقریبی ۹۴ کیلومتر می‌باشد که بین ایستگاه‌های آب‌سنجی پای‌پل و عبدالخان واقع شده است. ایستگاه آب‌سنجی پای‌پل در سال ۱۳۳۴ ساخته شده است و در ۱۳ کیلومتری پایین‌دست سد مخزنی کرخه قرار گرفته است. ارتفاع از سطح دریای این ایستگاه ۱۰۸ متر می‌باشد. این ایستگاه دارای تجهیزات اشل، لیمینیگراف و پل تلفریک است (۲). شکل ۳ نمایی از محل ایستگاه آب‌سنجی پای‌پل را نشان می‌دهد.

**شکل ۳- ایستگاه آب‌سنجی پای‌پل در بالادست بازه مورد مطالعه**

**Figure 3- PayePol hydrometric station in upstream of studied river reach**

ایستگاه آب‌سنجی عبدالخان در نزدیکی روستای عبدالخان در پایین‌دست بازه مورد مطالعه است که در سال ۱۳۴۴ احداث شده است. ارتفاع این ایستگاه از سطح دریا ۳۸/۵ متر می‌باشد و دارای تجهیزات اشل، لیمینیگراف و پل تلفریک است (۲). شکل ۴ ایستگاه آب‌سنجی عبدالخان در پایین‌دست بازه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

**شکل ٤- ایستگاه آب‌سنجی عبدالخان در پایین‌دست بازه مورد مطالعه**

**Figure 4- Abdolkhan hydrometric station in downstream of studied river reach**

دوره شبیه‌سازی در این تحقیق دو دوره‌ی ۱۲ ساله درنظر گرفته شده است. ۱۲ سال قبل از احداث سد مخزنی یعنی از سال آبی ۶۵-۱۳۶۴ تا ۷۶-۱۳۷۵ و دوره ۱۲ ساله‌ی بعد از ساخت سد کرخه که از سال آبی ۸۱-۱۳۸۰ تا ۹۲-۱۳۹۱ می‌باشد.

مدل ریاضی مورد استفاده در پژوهش:

مدلی که در این تحقیق به کار رفته است مدل HEC-RAS می‌باشد. این مدل یک شبیه‌ساز ریاضی است که می‌تواند به منظور انجام محاسبات هیدرولیکی رودخانه‌ها به‌کار گرفته شود. این نرم‌افزار توسط مهندسین ارتش آمریکا توسعه یافته است. در حال حاضر این مدل دارای قابلیت‌های شبیه‌سازی جریان ماندگار، متغیر، کنترل کیفیت آب و انتقال رسوبات می‌باشد. معادلات حاکم بر جریان ماندگار در مدل HEC-RAS شامل:

معادله انرژی برای محاسبه پروفیل سطح آب است که مطابق با رابطه‌ی (۲) است:

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \qquad (۱)$$

$Y_1, Y_2$ = عمق آب

$V_1, V_2$ = سرعت متوسط

$\alpha_1, \alpha_2$ = ضرایب تصحیح سرعت

$g$ = شتاب ثقل

$h_e$ = افت انرژی

مراحل انجام شبیه‌سازی جریان در مدل HEC-RAS را می‌توان به صورت گام‌های زیر بیان کرد:

وارد کردن داده‌های هندسی رودخانه

وارد کردن داده‌های جریان و شرایط مرزی رودخانه

انجام محاسبات هیدرولیکی

مشاهده نتایج شبیه‌سازی

در این تحقیق از اطلاعات هندسی ۱۳۸ مقطع عرضی در طول مسیر رودخانه کرخه در پایین‌دست سد استفاده شده است. فاصله مقاطع از یکدیگر به طور متوسط ۶۸۰ متر بوده است. شماره‌گذاری مقاطع براساس نقشه‌های اصلی از شماره‌ی ۲۲۸ (مقطع ایستگاه پای‌پل) تا شماره‌ی ۹۱ (مقطع ایستگاه عبدالخان) در مدل HEC-RAS در نظر گرفته شده است.

برآورد ضریب زبری مانینگ:

ضریب زبری مانینگ عامل مقاومت در مقابل جریان است. در رودخانه‌ها در اثر حرکت مصالح بستر، فرم بستر تشکیل می‌شود که بر مقدار زبری تأثیرگذار است. در چنین مجاری‌ای عامل مقاومت ناشی از اندازه‌ی ذرات و فرم تشکیل شده‌ی بستر می‌باشد. همچنین علاوه بر این دو، هر نوع عاملی مثل پیچ و خم رودخانه‌ها، پوشش گیاهی، تغییر مقطع رودخانه و غیره در میزان آن مؤثر است. برآورد مقدار ضریب زبری مانینگ برای یک رودخانه مقوله‌ای است که نیازمند مهارت و تجربه کافی در این زمینه است (۴). در این تحقیق ابتدا مقادیری اولیه‌ای برای ضریب زبری طبق جدول ۲ براساس روابط تجربی برآورد گردید. سپس با توجه به محدوده مجاز تغییرات ضریب زبری مانینگ برای رودخانه کرخه و استفاده از تحقیق‌های گذشته صورت گرفته و انطباق مقادیر سطح آب محاسباتی و مشاهداتی در محل ایستگاه آب‌سنجی عبدالخان، مقادیر ضریب زبری مانینگ برای مجرای اصلی رودخانه کرخه ۰/۰۲۵۲ و برای دشت‌های سیلابی ۰/۰۴۴ در نظر گرفته شد.

**جدول ۲- روش‌های تجربی برآورد ضریب زبری مانینگ**

**Table 2- Manning roughness coefficient estimated by various empirical formulas**

| نام روش<br>Name of Method | فرمول روش<br>Formula of Method | واحد اندازه‌گیری<br>Unit of Measure | مقدار برآورد شده<br>Estimated Value |
|---|---|---|---|
| استریکلر Strickler 1923 | $(D50^{1/6})/21.1$ | میلی‌متر mm | 0.021 |
| مولر Muller 1948 | $(D90^{1/6})/26$ | متر m | 0.037 |
| کولیگان ۱ Keulegan1 1938 | $(D50^{1/6})/46.9$ | فوت ft | 0.012 |
| کولیگان۲ Keulegan2 1949 | $(D90^{1/6})/49$ | فوت ft | 0.013 |
| کولیگان۳ Keulegan3 1949 | $(D65^{1/6})/29.3$ | فوت ft | 0.019 |
| لین و کارلسون Lane & Carlson 1953 | $(D75^{1/6})/39$ | اینچ in | 0.023 |

**انتخاب دبی‌های مشخصه**

به منظور مقایسه شرایط رژیم جریان رودخانه کرخه قبل و بعد از احداث سد مخزنی، از دبی‌هایی در طول دوره شبیه‌سازی استفاده شد. بدین صورت که از آمار و اطلاعات آبدهی رودخانه کرخه در محل ایستگاه آب‌سنجی پای‌پل که در بالادست بازه مورد مطالعه قرار دارد، استفاده شد. براساس یک آنالیز آماری دبی‌هایی به عنوان دبی‌های مشخصه در نظر گرفته شد. این دبی‌ها به عنوان نماینده‌ای برای شرایط دبی رودخانه کرخه در دوره قبل و بعد از ساخت سد می‌باشد. مقادیر این دبی‌های در نظر گرفته شده به صورت جدول‌های ۳ و ۴ آورده شده است.

**جدول ۳- دبی‌های مشخصه رودخانه کرخه قبل از احداث سد مخزنی**

**Table 3- Defined discharges of PayePol Station on Karkheh River before reservoir dam construction**

| دبی مشخصه Defined Discharge ($m^3/s$) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| حداقل | نما | میانه | متوسط | متوسط+انحراف معیار | ماکزیمم |
| Minimum | Mode | Median | Mean | Mean+Standard Deviation | Maximum |
| 16 | 70 | 117 | 220 | 492 | 4440 |

**جدول ٤- دبی‌های مشخصه رودخانه کرخه بعد از احداث سد مخزنی**

**Table 4- Defined discharges of PayePol Station on Karkheh River after reservoir dam construction**

| دبی مشخصه Defined Discharge ($m^3/s$) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| حداقل | متوسط-انحراف معیار | میانه | متوسط | نما | متوسط+انحراف معیار | حداکثر |
| Minimum | Deviation Mean-Standard | Median | Mean | Mode | Mean+Standard Deviation | Maximum |
| 5 | 18 | 74 | 94 | 101 | 170 | 553 |

با مقایسه مقادیر دبی‌های مشخصه در جدول‌های ۳ و ۴ به خوبی می‌توان کاهش شدید مقدار دبی‌ها را مشاهده نمود.

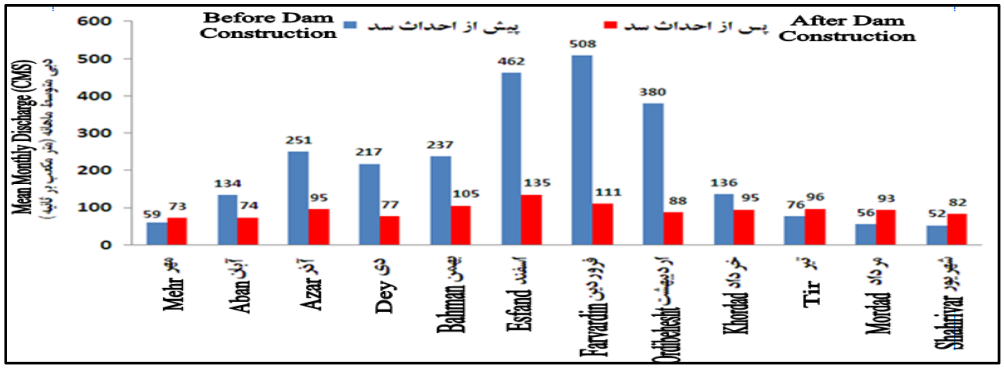
به منظور انجام شبیه‌سازی جریان در حالت ماندگار، سه دبی مشخصه‌ی حداکثر، متوسط و حداقل به عنوان نماینده‌ی شرایط جریان رودخانه کرخه انتخاب گردید و به ازای این دبی‌ها مدل HEC-RAS برای رودخانه کرخه در بازه مورد نظر به صورت جریان دائمی اجرا گردید. خروجی‌های پروفیل سطح آب، پارامترهای هیدرولیکی جریان و سایر نتایج بخش رژیم جریان در مدل HEC-

RAS برای شرایط قبل و بعد از احداث سد حاصل گردید و مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

## نتیجه‌گیری و بحث

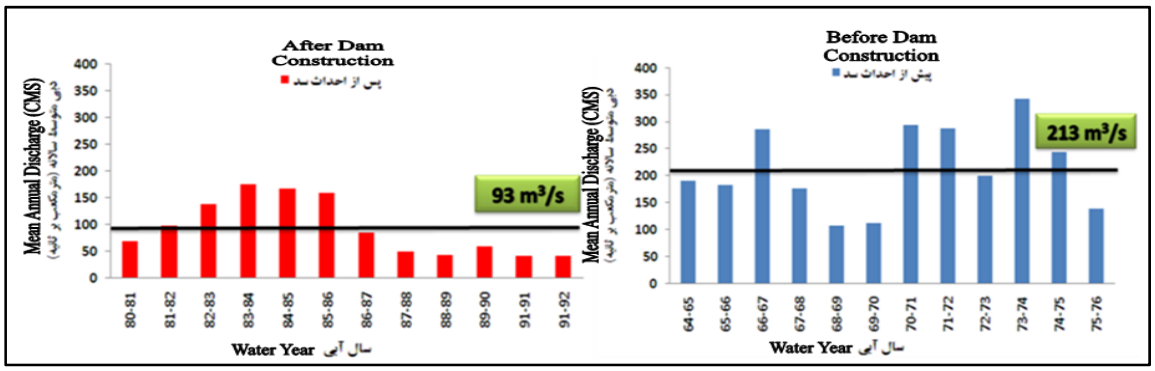
### آبدهی ماهانه و سالیانه

با بهره‌برداری از سد مخزنی کرخه جریان این رودخانه از حالت طبیعی به تنظیمی تغییر یافت. کاهش میزان آبدهی متوسط ماهانه در بیشتر فصول سال، تقلیل دبی متوسط سالیانه در ایستگاه‌های آب‌سنجی و کاهش شدید در میزان دبی حداکثر لحظه‌ای از ویژگی‌های شرایط بعد از احداث سد مخزنی کرخه می‌باشد. شکل‌های ۵، ۶ و ۷ میزان این کاهش‌ها را نمایش می‌دهد.



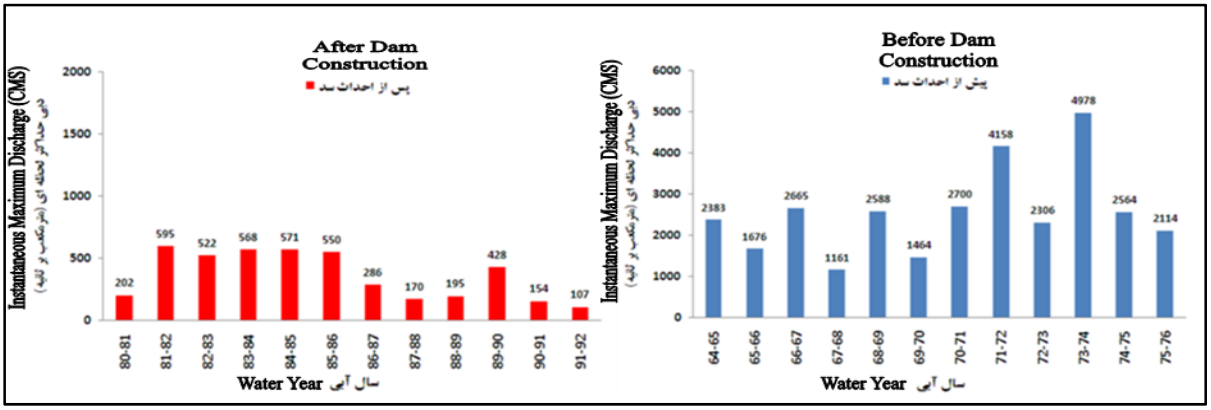

**شکل ۵- متوسط آبدهی ماهانه رودخانه کرخه در ایستگاه پای‌پل قبل و بعد از ساخت سد مخزنی**

**Figure 5- Mean monthly discharge of PayePol Station before and after Karkheh Dam construction**




**شکل ٦- متوسط آبدهی سالیانه رودخانه کرخه در ایستگاه پای‌پل قبل و بعد از ساخت سد مخزنی**

**Figure 6- Mean annual discharge of PayePol Station before and after Karkheh Dam construction**



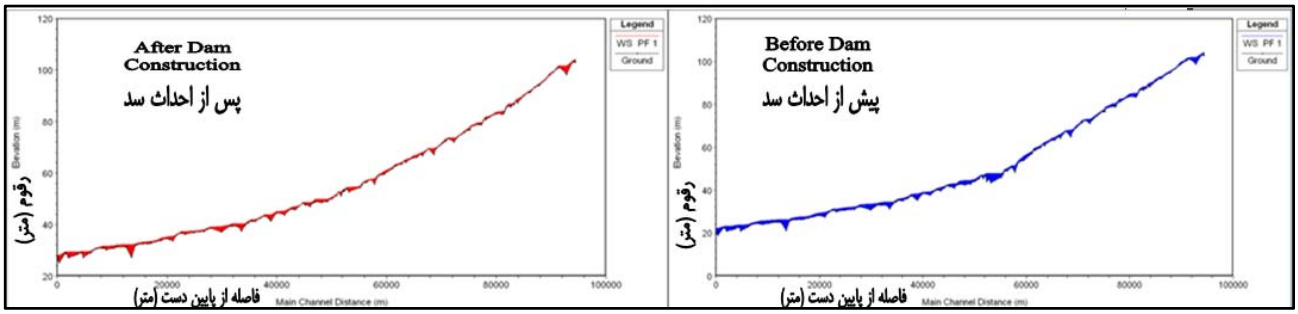

**شکل ۷- حداکثر آبدهی لحظه‌ای رودخانه کرخه ایستگاه پای‌پل قبل و بعد از ساخت سد مخزنی**

**Figure 7- Instantaneous maximum discharge of PayePol Station before and after Karkheh Dam construction**

براساس شکل ۵ می‌توان نتیجه گرفت که در اثر ساخت سد مخزنی کرخه در سه فصل پاییز، زمستان و بهار میزان دبی متوسط ماهانه رودخانه کرخه در محل ایستگاه آب‌سنجی پای‌پل کاهش چشمگیری را نشان می‌دهد، اما در فصل تابستان شاهد افزایش دبی متوسط ماهانه بوده‌ایم که دلیل آن جبران کمبود میزان آب در پایین‌دست سد با باز نمودن دریچه‌های سد در زمان‌های مورد نظر است که این امر از اهداف اصلی ساخت سد مخزنی کرخه می‌باشد. با توجه به شکل ۶ و مقایسه متوسط دبی سالیانه قبل و بعد از ساخت سد ملاحظه می‌شود که متوسط سالیانه در دوره‌ی ۱۲ ساله‌ی شبیه‌سازی قبل از احداث سد ۲۱۳ مترمکعب برثانیه و برای دوره‌ی ۱۲ ساله‌ی بعد از ساخت سد ۹۳ مترمکعب برثانیه بوده است و مقدار ۱۲۰ مترمکعب برثانیه کاهش در مقایسه متوسط‌های مذکور مشاهده می‌شود. رودخانه کرخه سومین رود بزرگ کشور از نظر آبدهی می‌باشد و دارای سیلاب‌های مخرب و شدیدی پیش از احداث سد مخزنی کرخه بوده است، با بررسی شکل ۷ مشاهده می‌گردد که دبی حداکثر لحظه‌ای رودخانه کرخه در ایستگاه آب‌سنجی پای‌پل دچار افت شدیدی با بهره‌برداری از سد مخزنی شده است، که دلیل اصلی آن تبدیل جریان طبیعی رودخانه کرخه به جریان تنظیمی بوده است.

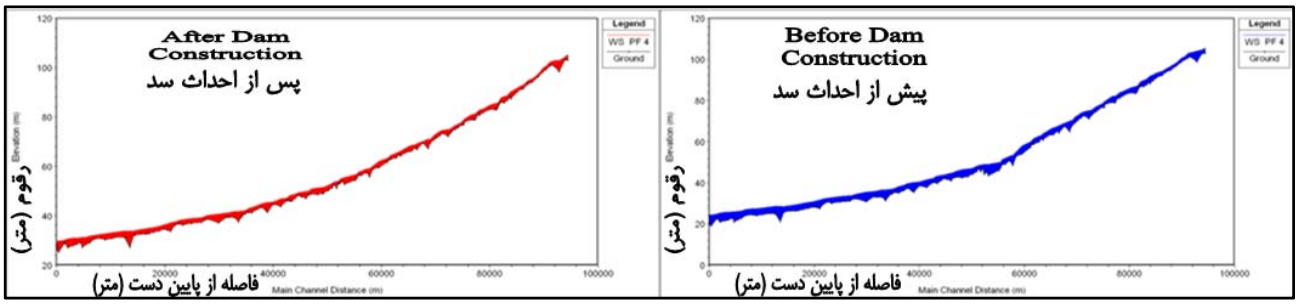
## پروفیل سطح آب

برآورد تراز سطح آب رودخانه به ازای دبی‌های مختلف یکی از مهم‌ترین خروجی‌های نرم افزار HEC-RAS در بخش هیدرولیک جریان می‌باشد. آگاهی از ارتفاع سطح آب رودخانه در مناطق مختلف آن به منظور طراحی سازه‌های هیدرولیکی، پهنه‌بندی سیلاب رودخانه، تأمین آب مورد نیاز کشاورزی و طراحی ایستگاه‌های پمپاژ دارای اهمیت زیادی می‌باشد. با توجه به بهره‌برداری از سد مخزنی کرخه در سال ۱۳۷۹ و تغییر محسوس در جریان رودخانه کرخه، پیش‌بینی تغییرات تراز سطح آب رودخانه در بخش‌های مختلف بیش از پیش دارای اهمیت شده است. در این بخش از نتایج تحقیق، تراز سطح آب در مقاطع مختلف بازه مورد مطالعه به ازای دبی‌های مشخصه‌ی حداکثر، متوسط و حداقل برای شرایط قبل و بعد از احداث سد آورده شده است. شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ این پروفیل‌ها را نمایش می‌دهد. لازم به توضیح است که در کلیه شکل‌های مقاله، متغیر آبی رنگ مربوط به شرایط قبل از ساخت سد (شرایط طبیعی جریان رودخانه کرخه) و متغیر قرمز رنگ در شرایط بعد از احداث سد (شرایط تنظیمی جریان رودخانه کرخه) می‌باشد.



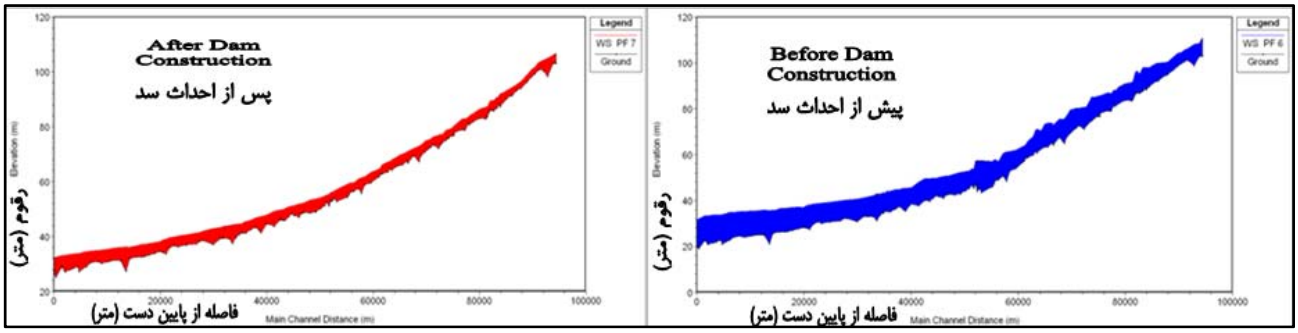

**شکل ۸- پروفیل سطح آب رودخانه کرخه به ازای دبی مشخصه حداقل قبل و بعد از احداث سد مخزنی**

**Figure 8- Water level profiles of Karkheh River for minimum defined discharge**




**شکل ۹- پروفیل سطح آب رودخانه کرخه به ازای دبی مشخصه متوسط قبل و بعد از احداث سد مخزنی**

**Figure 9- Water level profile of Karkheh River for mean defined discharge**

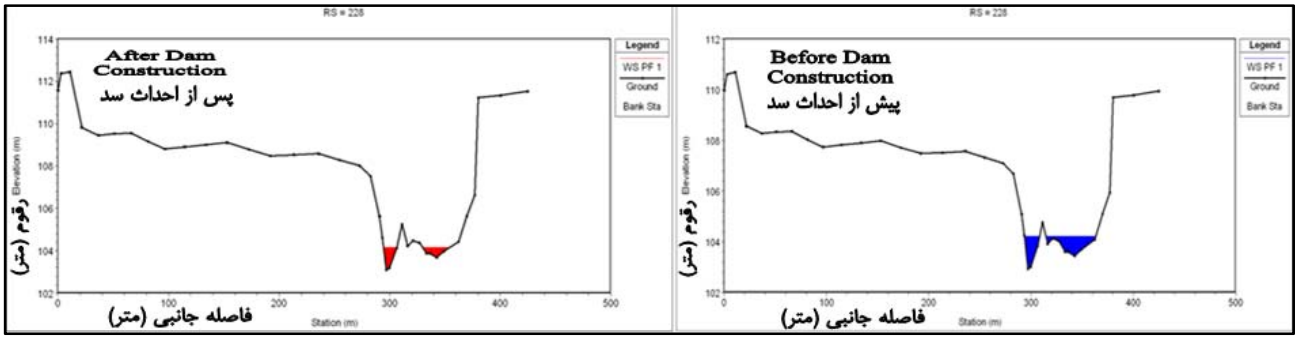



**شکل ۱۰- پروفیل سطح آب رودخانه کرخه به ازای دبی مشخصه حداکثر قبل (آبی رنگ) و بعد (قرمز رنگ) از احداث سد مخزنی**

**Figure 10- Water level profile of Karkheh River for maximum defined discharge**

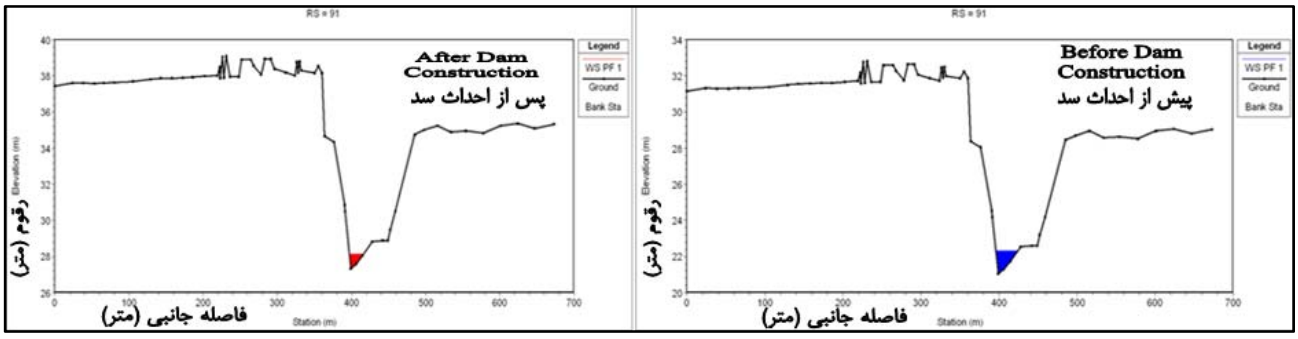
همان طور که در پروفیل‌های سطح آب (شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰) به ازای دبی های مشخصه‌ی مختلف دیده می‌شود تفاوت چشمگیری در تراز شرح آب در مقاطع عرضی مختلف رودخانه وجود دارد. با توجه به طول مسیر رودخانه کرخه در بازه مورد مطالعه که ۹۴ کیلومتر بوده است کاهش تراز سطح آب برای شرایط بعد از ساخت سد به خوبی مشهود است. البته در دبی مشخصه حداقل به علت نزدیک بودن مقادیر این دبی‌ها تفاوت زیادی بین تراز سطح آب قبل و بعد وجود نداشته است، ولی در مورد دبی‌های مشخصه‌ی متوسط و حداکثر قبل و بعد از سد این اختلاف سطح آب در مقاطع عرضی مختلف در مسیر رودخانه کرخه بسیار بیشتر بوده است. بدون شک با توجه به این میزان کاهش در تراز سطح آب مشکلات عدیده‌ای در بهره‌برداری از رودخانه کرخه برای مصارف مختلف ایجاد شده است که از جمله می‌توان به جلوگیری از کشت تابستانه در زمین‌های کشاورزی استان در سال‌های اخیر اشاره کرد.

سطح آب در محل مقاطع عرضی ایستگاه‌های آب‌سنجی پای‌پل (مقطع شماره ۲۲۸) و عبدالخان (مقطع شماره ۹۱) نیز به ازای دبی‌های مشخصه‌ی حداکثر، متوسط و حداقل برای شرایط قبل و بعد از احداث سد محاسبه شده است، که به صورت شکل‌های ۱۱ تا ۱۶ ارائه شده است.



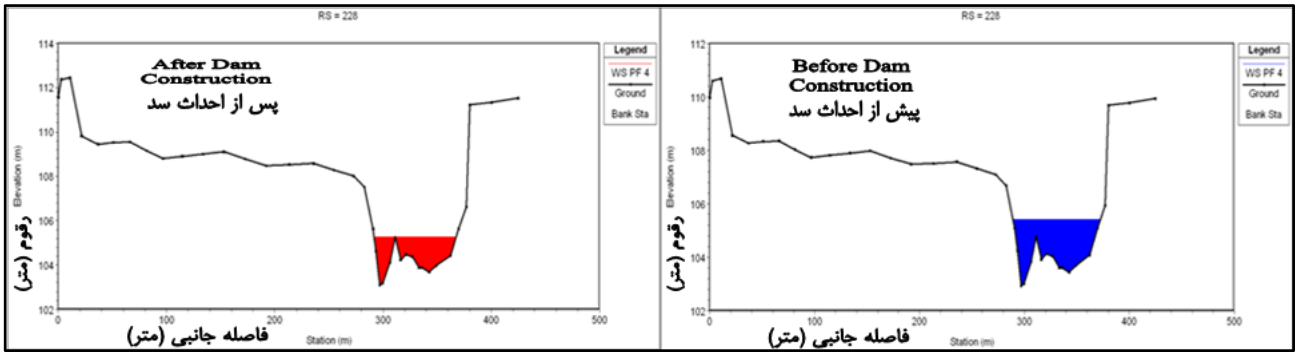

**شکل ۱۱- تراز سطح آب رودخانه کرخه به ازای دبی مشخصه حداقل قبل و بعد از احداث سد مخزنی در مقطع پای‌پل**

**Figure 11- Water level of PayePol Cross Section for minimum defined discharge**



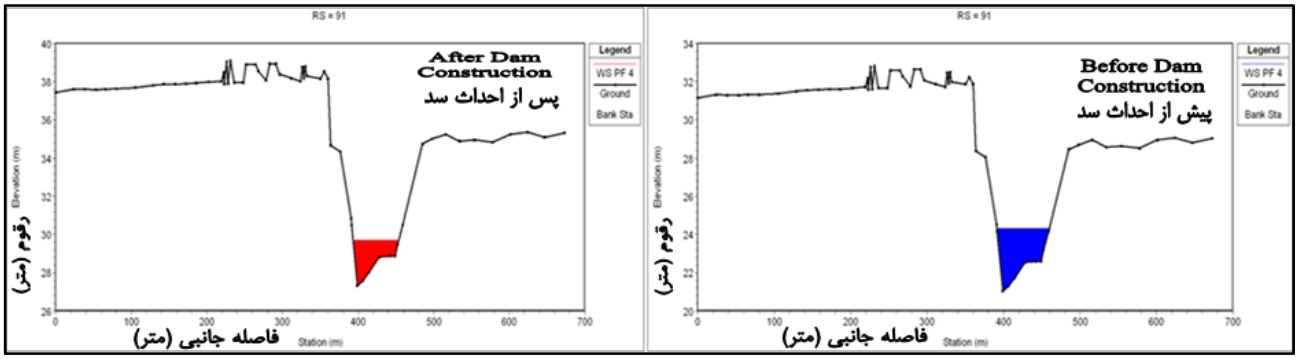

**شکل ۱۲- تراز سطح آب رودخانه کرخه به ازای دبی مشخصه حداقل قبل و بعد از احداث سد مخزنی در مقطع عبدالخان**

**Figure 12- Water level of Abdolkhan Cross Section for minimum defined discharge**



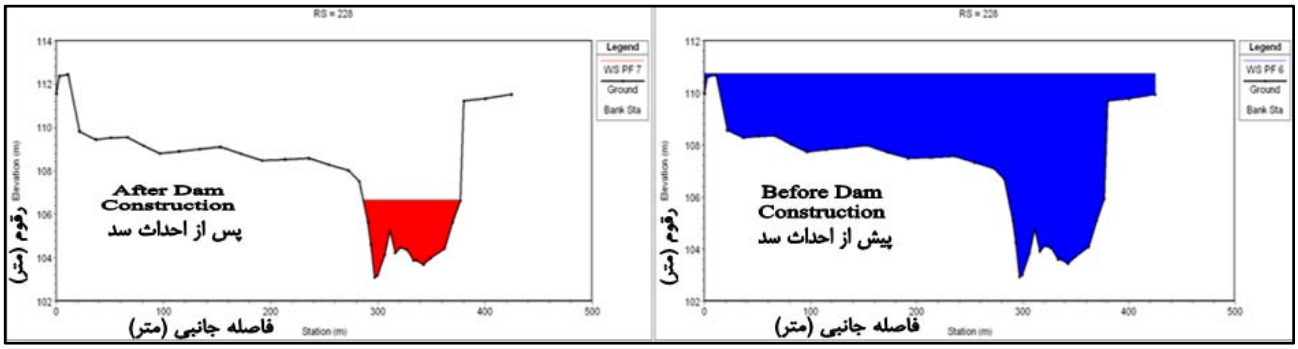

شکل۱۳- تراز سطح آب رودخانه کرخه به ازای دبی مشخصه متوسط قبل و بعد از احداث سد مخزنی در مقطع پای‌پل

**Figure 13- Water level of PayePol Cross Section for mean defined discharge**



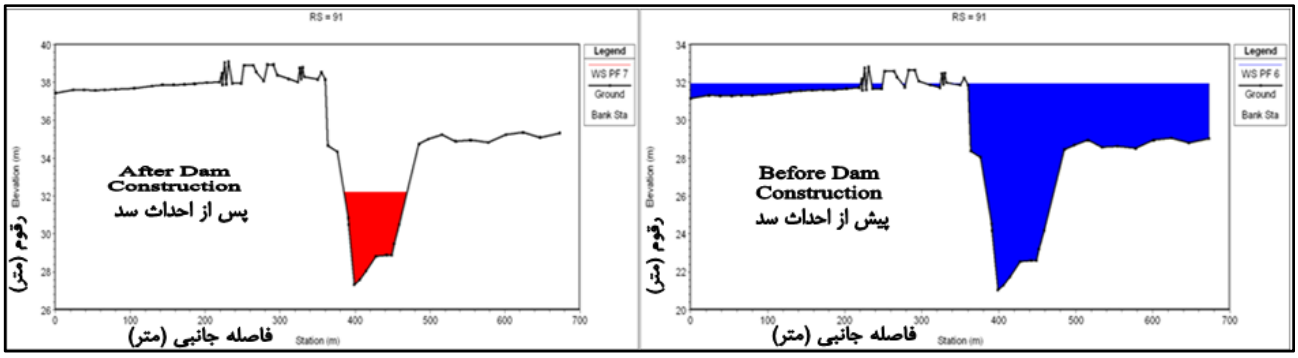

شکل ۱۴- تراز سطح آب رودخانه کرخه به ازای دبی مشخصه متوسط قبل و بعد از احداث سد مخزنی در مقطع عبدالخان

**Figure 14- Water level of Abdolkhan Cross Section for mean defined discharge**




شکل ۱۵- تراز سطح آب رودخانه کرخه به ازای دبی مشخصه حداکثر قبل و بعد از احداث سد مخزنی در مقطع پای‌پل

**Figure 15- Water level of PayePol Cross Section for maximum defined discharge**




شکل ۱۶- تراز سطح آب رودخانه کرخه به ازای دبی مشخصه حداکثر قبل و بعد از احداث سد مخزنی در مقطع عبدالخان

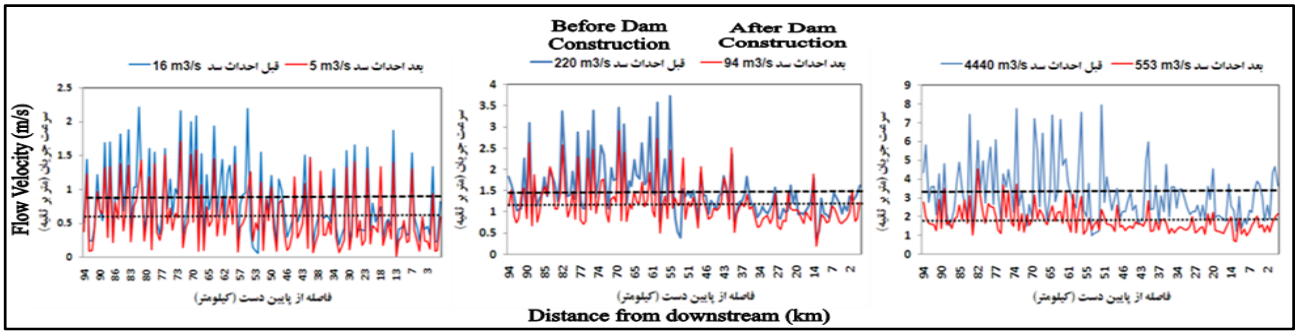
**Figure 16- Water level of Abdolkhan Cross Section for maximum defined discharge**

به دست آوردن تراز سطح آب در مناطق مختلف رودخانه‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است، آبگیری از رودخانه برای تأمین آب جهت مصارف مختلف یکی از موارد مهم کاربردی آگاهی از سطح آب در مقاطع عرضی رودخانه می‌باشد. در رودخانه کرخه در بازه مورد مطالعه دو مقطع عرضی محل ایستگاه‌های پای‌پل در بالادست و عبدالخان در پایین‌دست به عنوان مقاطع شاخص انتخاب گردیدند و به ازای دبی‌های مختلف سطح آب در آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. در مورد دبی مشخصه حداقل مقطع پای‌پل در اثر کاهش شدید جریان به حالت رودخانه شریانی (جزیره‌ای) تبدیل شده است. همچنین در مورد دبی حداکثر رودخانه کرخه برای شرایط قبل از ساخت سد مخزنی، دشت‌های سیلابی نیز تحت تأثیر جریان قرار گرفته است. با احداث سد مخزنی کرخه در مقاطع عرضی آسیب‌پذیر مشکل غرقاب شدن دشت‌های سیلابی و زمین‌های اطراف رودخانه برطرف شده است، هرچند که با توجه به کم‌آبی‌های اخیر و خشکسالی شدید در سطح حوضه آبریز کرخه در صورت نبودن سد مخزنی نیز بدون شک رودخانه کرخه در عبور جریان از مقطع اصلی دچار مشکل نمی‌شد و دشت‌های سیلابی نیز تحت تأثیر قرار نمی‌گرفت.

## پارامترهای هیدرولیکی رودخانه کرخه

مدل HEC-RAS دارای خروجی‌های مختلفی در بخش هیدرولیک جریان می‌باشد، در این پژوهش برخی از کمیت‌های جریان مانند سرعت، مساحت جریان، عرض سطح آب، عمق هیدرولیکی، تنش برشی و شعاع هیدرولیکی به عنوان پارامترهای شاخص مورد توجه قرار گرفت. این متغیرها برای دبی‌های مشخصه‌ی مختلف در شرایط قبل و بعد از احداث سد مخزنی و در کلیه مقاطع عرضی مسیر رودخانه توسط نرم‌افزار HEC-RAS محاسبه گردید و برای هریک از این پارامترها منحنی تغییرات، در دوره شبیه‌سازی قبل و بعد از ساخت سد ترسیم شد. با توجه به این منحنی‌ها، تغییرات در مقاطع عرضی مختلف و تأثیر بهره‌برداری از سد مخزنی کرخه به خوبی قابل مشاهده و ارزیابی است. در هر منحنی دو خط که نشان دهنده‌ی متوسط آن کمیت در طول مسیر رودخانه است، ترسیم شده است که نقطه‌چین بزرگتر مربوط به شرایط بعد از احداث سد می‌باشد.

سرعت جریان آب در رودخانه یک پارامتر بسیار مهم می‌باشد که تأثیر مستقیم بر الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری رودخانه در مقاطع مختلف دارد. سرعت جریان رودخانه کرخه تابعی از دبی، شیب مجرای رودخانه، شکل هندسی مقطع عرضی و غیره است. همان طور که در شکل ۱۷ مشاهده می‌شود به ازای افزایش دبی جریان رودخانه کرخه سرعت نیز افزوده می شود و تفاوت قابل توجهی بین سرعت متوسط جریان رودخانه کرخه در مقاطع مختلف برای شرایط قبل و بعد از ساخت سد مخزنی کرخه وجود دارد.

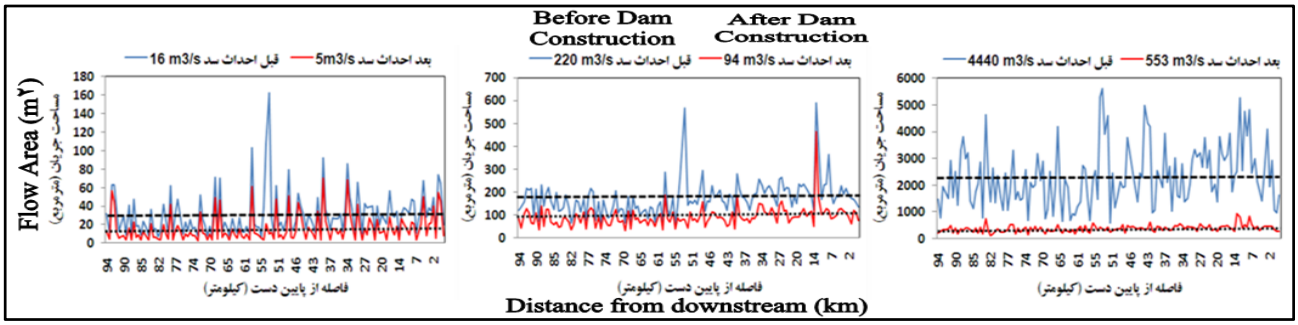



**شکل ۱۷- منحنی تغییرات سرعت جریان در مقاطع مختلف به ازای دبی‌های مشخصه قبل و بعد از ساخت سد مخزنی**

**Figure 17- Flow velocity of Karkheh River in all cross sections for defined discharges before and after Karkheh Dam construction**

با توجه به تنظیم و تثبیت شدن دبی رودخانه کرخه بعد از احداث سد مخزنی و پی‌آمد آن کاهش میزان سرعت جریان در بخش‌های پایین‌دست رودخانه انتظار رسوب‌گذاری در مقاطع مختلف رودخانه کرخه وجود دارد که این مسأله باعث بروز مشکلات فراوانی در مقاطع مختلف رودخانه می‌گردد. به دلیل تبدیل جریان رودخانه کرخه از حالت طبیعی به حالت تنظیمی و مصنوعی و بررسی آمار و اطلاعات رودخانه کرخه در محل ایستگاه‌های آبسنجی از جمله ایستگاه پای‌پل، شاهد کاهش سرعت جریان در این منطقه از رودخانه هستیم و مشکلاتی در این زمینه به وجود آمده است که ایجاد جزایر رسوبی، کاسته شدن از مقطع عرضی رودخانه و ایجاد مشکلات در سیستم‌های آبرسانی و ایستگاه‌های پمپاژ از جمله‌ی این مشکلات است.

سطح مقطع جریان یا مساحت جریان نیز تابع مستقیمی از دبی رودخانه کرخه بوده است و به خوبی در شکل ۱۸ ملاحظه می‌شود که در دبی مشخصه حداکثر قبل از ساخت سد نسبت به بعد از سد تفاوت معناداری وجود دارد.

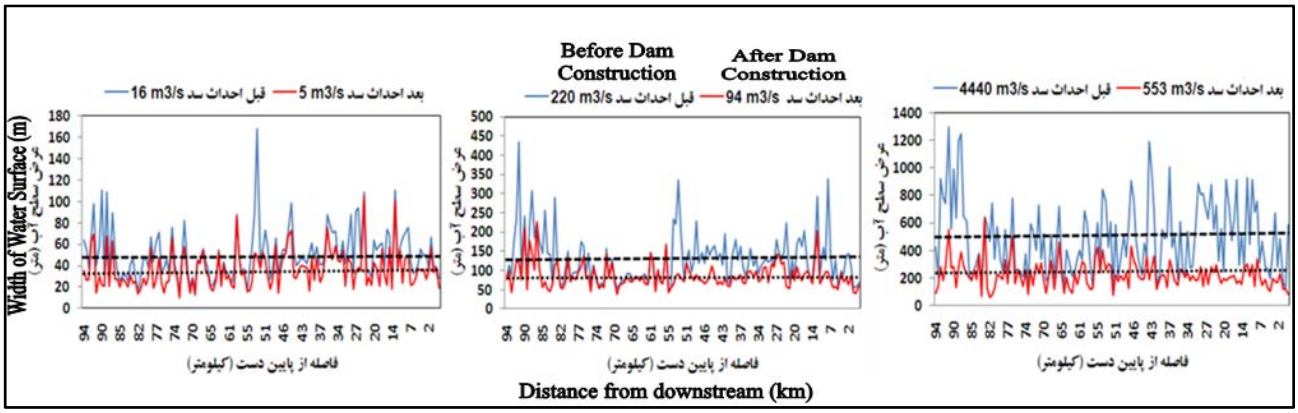



**شکل ۱۸- منحنی تغییرات مساحت جریان در مقاطع مختلف به ازای دبی‌های مشخصه قبل و بعد از ساخت سد مخزنی**

**Figure 18- Flow area of Karkheh River in all cross sections for defined discharges before and after Karkheh Dam construction**

قبل از بهره‌برداری از سد کرخه، بدون شک در جریان‌های سیلابی مناطق اطراف رودخانه کرخه دچار آبگرفتگی می‌شده است و دشت‌های سیلابی برای رد کردن سیل تحت تأثیر قرار می‌گرفت اما با ساخت سد مخزنی کرخه این مشکل برطرف شد و از طرفی کاهش بارش‌های جوی در سطح حوضه و عدم تغذیه رواناب‌های سطحی موجب کم شدن شدیدتر سطح مقطع جریان در سال‌های اخیر شده است.

عرض سطح آب به عنوان پارامتری از وضعیت هندسی مقطع عرضی رودخانه در نظر گرفته می‌شود که نشان دهنده‌ی عرض سیل‌گیر مقطع عرضی است. به بیان دیگر این متغیر نشان می‌دهد که در اثر دبی عبوری از مقطع مورد نظر چه عرضی از رودخانه و سواحل تحت تأثیر قرار می‌گیرند. عرض سطح آب رودخانه کرخه تأثیر مستقیم بر عمق هیدرولیکی مقطع عرضی رودخانه دارد. شکل ۱۹ اختلاف عرض‌های سطح آب رودخانه کرخه در مقاطع مختلف برای دبی‌های مشخصه را نشان می‌دهد.

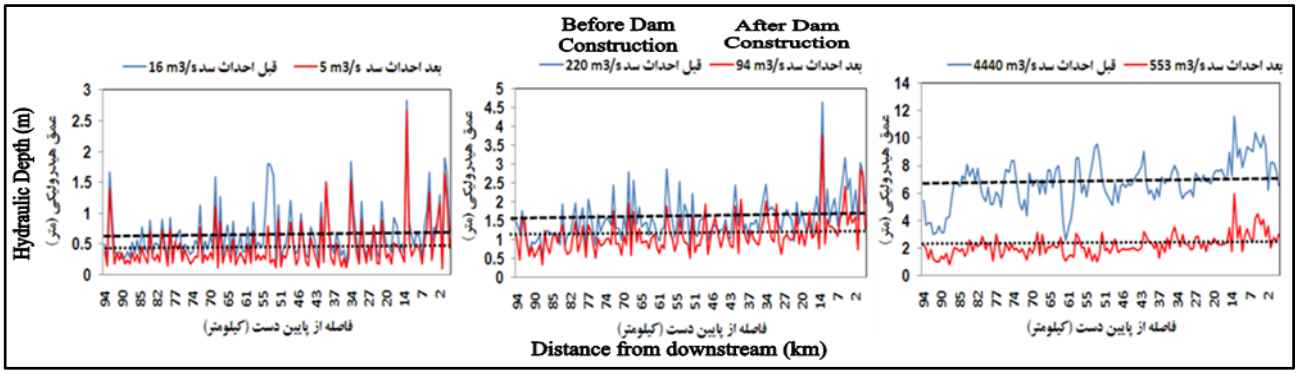



**شکل ۱۹- منحنی تغییرات عرض سطح آب جریان در مقاطع مختلف به ازای دبی‌های مشخصه قبل و بعد از ساخت سد مخزنی**

**Figure 19- Width of water surface of Karkheh River in all cross sections for defined discharges before and after Karkheh Dam construction**

قبل از احداث سد مخزنی کرخه با ایجاد جریان‌های سیلابی در رودخانه کرخه همواره شاهد آبگرفتگی مناطق و شهرهای اطراف رودخانه بوده‌ایم و در اثر ساخت سد این مشکل مرتفع شد. چالش امروز رودخانه کرخه خشکسالی‌های اخیر کشور به خصوص در منطقه خوزستان بوده است که با احداث سد مخزنی این مشکلات برای رودخانه حادتر شده است. به بیان دیگر می‌توان براساس نتایج این تحقیق ادعا کرد که کمبود بارندگی، خشکسالی و تأثیر وجود سد مخزنی کرخه به شدت پایین‌دست رودخانه کرخه را تا محل اتصال به تالاب هورالعظیم تحت تأثیر قرار داده است.

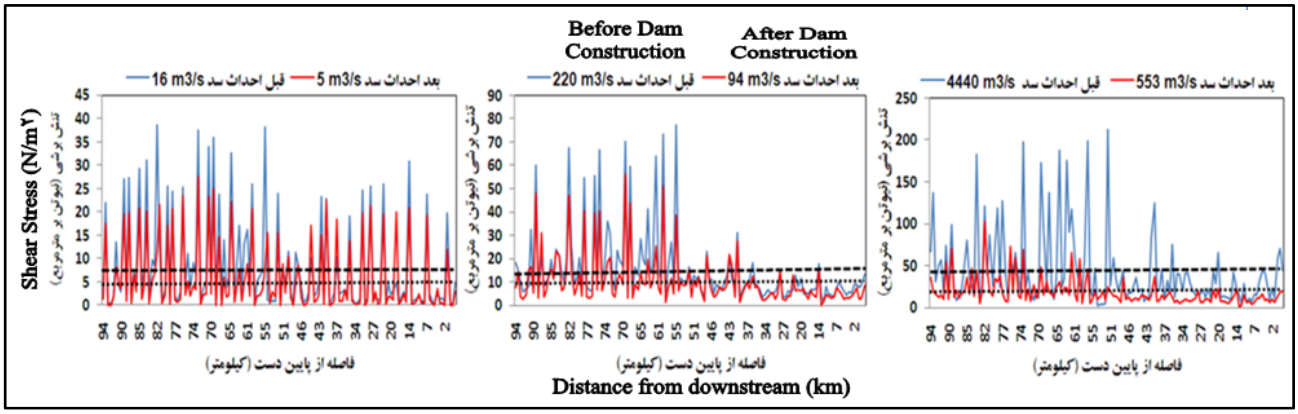
تفاوت عمق هیدرولیکی در مقاطع عرضی مختلف رودخانه کرخه نیز به ازای دبی‌های مشخصه برای شرایط قبل و بعد از ساخت سد قابل توجه بوده است (شکل ۲۰).




**شکل ۲۰- منحنی تغییرات عمق هیدرولیکی در مقاطع مختلف به ازای دبی‌های مشخصه قبل و بعد از ساخت سد مخزنی**

**Figure 20- Hydraulic depth of Karkheh River in all cross sections for defined discharges before and after Karkheh Dam construction**

هنگامی که آب در رودخانه جریان دارد نیرویی در جهت حرکت آب به سطح بستر مجرای رودخانه اثر می کند این نیرو به طور ساده نیروی کشش آب در محیط مرطوب است و مقدار آن در واحد سطح به عنوان تنش برشی شناخته می‌شود. تنش برشی تابعی از وزن مخصوص آب، شعاع هیدرولیکی رودخانه و شیب مجرا می‌باشد. به دلیل رابطه مستقیم تنش برشی و آستانه حرکت ذرات رسوبی، این پارامتر در مباحث هیدرولیک رسوب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شکل ۲۱ به خوبی میزان تغییرات تنش برشی مسیر رودخانه کرخه به ازای دبی‌های مختلف را نشان می‌دهد.

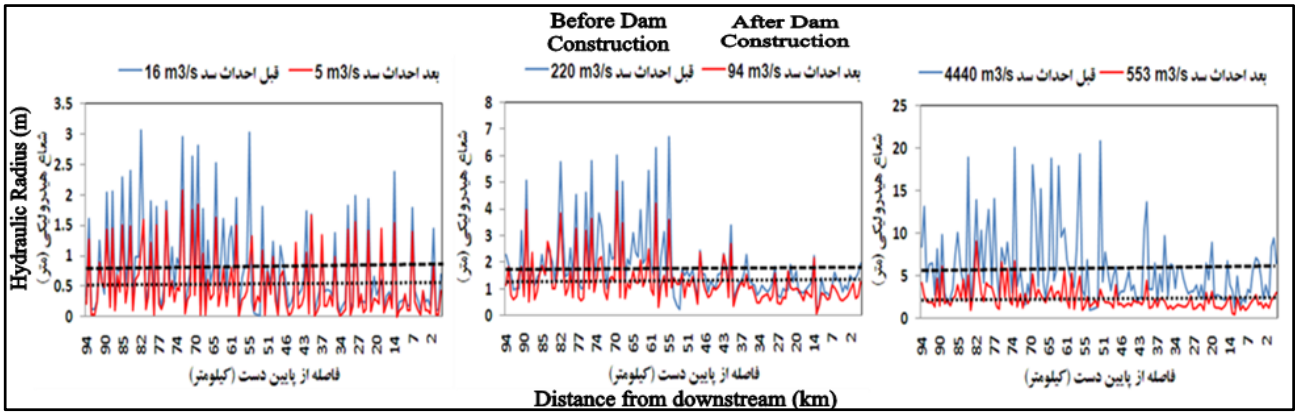



**شکل ۲۱- منحنی تغییرات تنش برشی در مقاطع مختلف به ازای دبی‌های مشخصه قبل و بعد از ساخت سد مخزنی**

**Figure 21- Shear stress of Karkheh River in all cross sections for defined discharges before and after Karkheh Dam construction**

شعاع هیدرولیکی از مهم‌ترین پارامترهای هیدرولیکی رودخانه است و در کانال‌های عریض که نسبت عرض کف مجرا به عمق جریان بیشتر از ۱۰ باشد مانند رودخانه‌ها به عنوان عمق جریان فرض می‌شود. رودخانه کرخه چون دارای عرض سطح آب نسبتاً زیادی می‌باشد و در نتیجه دارای پیرامون تر شده بالایی نیز است به همین دلیل شعاع هیدرولیکی آن معمولا کم است. شکل ۲۲ تغییرات شعاع هیدرولیکی رودخانه کرخه در مقاطع مختلف به ازای دبی‌های مشخصه حداقل، متوسط و حداکثر را برای شرایط قبل و بعد از ساخت سد نشان می‌دهد.

چون پارامترهای هیدرولیکی همگی به نوعی وابسته به دبی جریان رودخانه هستند و از طرفی با توجه به احداث سد و تبدیل جریان طبیعی رودخانه به تنظیمی و کاهش شدید میزان جریان ورودی به پایین دست سد، در نتیجه کلیه پارامترها دچار کاهش شده اند. با توجه به بررسی منحنی‌های پارامترهای رودخانه کرخه، می‌توان میزان درصد تغییرات شرایط قبل و بعد از احداث سد مخزنی را در طول مسیر رودخانه تعیین کرد. تحلیل مقدار تغییرات این پارامترها به صورت جدول ۵ است.




**شکل ۲۲- منحنی تغییرات شعاع هیدرولیکی در مقاطع مختلف به ازای دبی‌های مشخصه قبل و بعد از ساخت سد مخزنی**

**Figure 22- Hydraulic radius of Karkheh River in all cross sections for defined discharges before and after Karkheh Dam construction**

**جدول ۵- درصد مقادیر تغییر پارامترهای هیدرولیکی در مقاطع عرضی رودخانه کرخه برای دبی‌های مشخصه حداقل، متوسط و حداکثر قبل و بعد از ساخت سد**

**Table 5- Percent values of hydraulic parameters of Karkheh River in all cross sections for maximum, mean and minimum defined discharges before and after Karkheh Dam construction**

| نام کمیت<br>Parameter Name | دبی مشخصه حداقل<br>Minimum Defined Discharge | دبی مشخصه متوسط<br>Mean Defined Discharge | دبی مشخصه حداکثر<br>Maximum defined Discharge |
|---|---|---|---|
| | درصد میزان کاهش کمیت در شرایط بعد از ساخت سد نسبت به شرایط قبل ساخت سد<br>Percent Reduction of Parameter in After Condition Ratio Before Condition | | |
| سرعت جریان Flow Velocity (m/s) | 27 | 20 | 43 |
| مساحت جریان Flow Area ($m^2$) | 45 | 47 | 84 |
| عرض سطح آب Width of Water Surface (m) | 29 | 33 | 55 |
| عمق هیدرولیکی Hydraulic Depth (m) | 32 | 26 | 67 |
| تنش برشی Shear Stress ($N/m^2$) | 29 | 26 | 67 |
| شعاع هیدرولیکی Hydraulic Radius (m) | 33 | 28 | 59 |

مقادیر درصد تغییرات جدول ۵ براساس متوسط میزان تغییرات از کلیه‌ی مقاطع عرضی رودخانه کرخه در بازه مورد مطالعه حاصل شده است. از نتایج جدول می‌توان به خوبی میزان کاهش شدید در کلیه‌ی کمیت‌های هیدرولیکی را در اثر بهره‌برداری از سد مخزنی کرخه در پایین‌دست رودخانه مشاهده کرد. میزان این تغییرات در دبی‌های حداکثر بسیار شدیدتر بوده است. به طور کلی می‌توان شرایط رژیم جریان رودخانه کرخه در پایین‌دست سد مخزنی را در اثر عوامل مختلفی مانند ساخت سد مخزنی و کم شدن آب رها شده به سمت پایین‌دست، کاستن از میزان تغذیه جریان‌های سطحی در اثر کمبود بارندگی، ایجاد شرایط تغییر اقلیم در سطح حوضه کرخه و خشکسالی‌های مداوم و افزایش مصرف آب در بخش‌های مختلف دانست. کاسته شدن از میزان جریان رودخانه کرخه در این منطقه علاوه بر مشکلات ذکر شده، مسائل زیست محیطی و آلودگی‌هایی را نیز در پی دارد. تخلیه فاضلاب بخش‌های مختلف شهری، صنعتی و کشاورزی در رودخانه‌ای با جریان کم بسیار خطرناک‌تر از رودخانه‌ای با جریان بیشتر است. امید است با مدیریت جامع و صحیح و بهره‌برداری مناسب از منابع آب کشور شاهد مشکلات کمتری در این بخش باشیم.

## جمع‌بندی

با بهره‌برداری از سد مخزنی کرخه در سال ۱۳۷۹ جریان رودخانه کرخه از حالت طبیعی به حالت تنظیمی تبدیل شد، این تغییر حالت موجب تأثیرات فراوانی در شرایط رودخانه در پایین‌دست سد مخزنی کرخه شده است. در بخش بررسی جریان رودخانه کرخه، تغییرات فراوانی در میزان آبدهی متوسط ماهانه، سالیانه و حداکثر دبی لحظه‌ای رودخانه کرخه پدیدار شده است، کاهش شدید کلیه این کمیت‌ها برای شرایط بعد از احداث سد به وجود آمده است. به بیان دیگر می‌توان اظهار داشت که با بهره‌برداری از سد مخزنی کرخه از

بروز سیلاب‌های مخرب رودخانه کرخه در دشت خوزستان تا حد زیادی جلوگیری شده است.

در بحث پروفیل سطح آب نیز کاهش چشمگیر تراز سطح آب در پروفیل طولی سطح آب رودخانه کرخه و تراز سطح آب در محل ایستگاه‌های آب‌سنجی از اثرات احداث سد مخزنی کرخه بر پایین‌دست بوده است. آگاهی از تراز سطح آب رودخانه کرخه در موارد مربوط به تأمین عمق مورد نیاز جهت آبگیری از رودخانه برای مصارف مختلف دارای اهمیت ویژه‌ای بوده است.

همچنین با توجه به کاهش میزان دبی جریان رودخانه کرخه پایین‌دست سد مخزنی، کلیه پارامترهای هیدرولیکی رودخانه نظیر سرعت جریان، مساحت جریان، عرض سطح آب، عمق هیدرولیکی، تنش برشی و شعاع هیدرولیکی نیز دستخوش تغییراتی شده است. تغییرات ناشی از پارامترهای هیدرولیکی رودخانه کرخه در اثر احداث سد مخزنی به طور مستقیم بر رژیم جریان و شرایط رسوبی رودخانه نیز تأثیرگذار بوده است.

کاهش میزان دبی رودخانه کرخه علاوه بر بهره‌برداری از سد مخزنی علل دیگری از جمله تغییرات اقلیمی، کاهش میزان بارندگی و خشکسالی نیز داشته است. در خصوص بروز خشکسالی در حوضه آبریز کرخه تحقیقی توسط قاسمی و همکاران ۱۳۸۷، در طی سال‌های ۴۶-۱۳۴۵ تا ۸۱-۱۳۸۰ با بهره‌گیری از شاخص‌های SPI و دهک ده درصد انجام گرفت و نشان داده شد که در منطقه حوضه‌ی آبریز کرخه خشکسالی اتفاق افتاده است (۶)، همچنین آذرنگ و همکاران ۱۳۹۴ پژوهشی در زمینه بررسی شاخص‌های خشکسالی در سطح استان خوزستان انجام دادند، بازه زمانی مورد مطالعه در تحقیق ۳۰ ساله بین سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۳ و با استفاده از شاخص‌های درصد نرمال، بارش استاندارد، Z چینی و ناهنجاری بارندگی بوده است. آن‌ها نشان دادند که با توجه به کاهش میزان بارش در سال‌های اخیر، این شرایط بر روی شاخص‌های خشکسالی تأثیرگذار بوده است و منطقه خوزستان دچار خشکسالی‌های گسترده‌ای شده است (۱)، بر همین اساس و با توجه به قرارگیری بخش عظیمی از رودخانه کرخه در استان خوزستان، این رودخانه نیز در معرض کم‌آبی و خشکسالی‌های منطقه قرار داشته است. پس به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که احداث سد بزرگی مانند سد مخزنی کرخه، کمبود میزان بارش در منطقه و در معرض قرار خشکسالی قرار داشتن استان خوزستان در سال‌های اخیر بر شرایط جریان در پایین‌دست تأثیرات چشمگیری داشته است و این تغییرات در شرایط جریان و پارامترهای هیدرولیکی رودخانه به خوبی بروز یافته است.

در خصوص پژوهش‌های سایر محققین در این رابطه می‌توان به پژوهش‌هایی اشاره نمود: طرازکار و صدق‌آمیز ۱۳۸۷، مقایسه پیش‌بینی دبی جریان ماهانه رودخانه کرخه با استفاده از روش‌های سری زمانی و هوش مصنوعی را طی تحقیقی انجام دادند، آن‌ها از اطلاعات دو ایستگاه جلوگیر و پای‌پل به ترتیب در بالادست و پایین‌دست سد مخزنی کرخه در طی سال‌های ۱۳۳۷ تا ۱۳۸۲ استفاده نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که در اثر بهره‌برداری از سد مخزنی کرخه تغییرات گسترده‌ای در رژیم جریان رودخانه کرخه به ویژه در ایستگاه پای‌پل واقع در پایین‌دست سد روی داده است و همچنین مشخص گردید که روش سری زمانی در مقایسه با روش شبکه عصبی دارای خطای کمتری در پیش‌بینی دبی ماهانه ایستگاه پای‌پل می‌باشد (۱۳).

سلحشوری و وفایی‌نژاد ۱۳۹۱، پایش تغییرات سیلاب‌دشت‌های رودخانه کرخه بر اثر احداث سد مخزنی را با استفاده از سنجش از دور و GIS انجام دادند، تحقیق آن‌ها در دوره‌های قبل و بعد از بهره‌برداری از سد و با کمک تصاویر ماهواره‌ای در دشت‌های پایین‌دست سد مخزنی کرخه و در بازه‌ای به طول ۷۰ کیلومتر از رودخانه انجام پذیرفت، نتایج این تحقیق نشان داد که کاهش مساحت رودخانه کرخه در پایین‌دست سد مخزنی بر اثر تثبیت میزان دبی رودخانه رخ داده است که موضوع ناشی از احداث سد مخزنی و تنظیم جریان رودخانه کرخه بوده است. تحقیق مذکور به خوبی نتایج پژوهش ما در زمینه تأثیرات سد مخزنی بر میزان جریان و پارامترهای هیدرولیکی رودخانه کرخه را تأیید می‌نماید (۱۱).

با درنظر گرفتن نتایج تحقیقات مذکور به خوبی می‌توان دریافت که با بهره‌برداری از سد مخزنی کرخه، رودخانه در پایین‌دست سد دچار تغییرات فراوانی در شرایط رژیم و پارامترهای هیدرولیکی شده است که این موضوع توسط سایر تحقیقات صورت گرفته نیز تأیید شده است.

## منابع


1- Azarang F., Telvari A., Sedghi H., and Shafai Bajestan M. 2015. Application of drought index in Khouzestan Province. 1st National Conference of New Ideas of Agriculture, Environment and Tourism, Ardabil, Iran.

2- Azarang F. 2014. Numerical Simulation of Flow and Sediment at Karkhe River Downstream of Reservoir Dam and its Effect on River Morphology. PhD thesis. Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3- Azarang F., Telvari A., Sedghi H., and Shafai Bajestan M. 2014. Numerical Simulation of Flow and Sediment Transport of Karkheh River before the Reservoir Dam Construction Using MIKE 11 (A Case Study in Iran).

Advances in Environmental Biology Journal. 8(21):979-988.
4- Bahramifar A., Shirkhani R., and Mohammadi M. 2013. An ANFIS-based Approach for Predicting the Manning Roughness Coefficient in Alluvial Channels at the Bank-Full Stage. International Journal of Engineering. 26(2): 177-186.
5- Choi S., Yoon B., and Woo H. 2005. Effects of dam-induced flow regime change on downstream river morphology and vegetation cover in the Hwang River, Korea. River Research and Application. 21 (2-3):315-325.
6- Ghasemi M., Eslamian S.S., and Soltani S. 2008. Monitoring and regionalization of meteorological drought in Karkheh Watershed using standardized precipitation index and precipitation deciles. Agricultural Research: Water, Soil and Plant in Agriculture. 8(3):23-35.
**7-** Graf, W.L. 2006, downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers,Geomorphology Journal, 79 (3-4):336–360.
8- Jamab Co. 1999. Comprehensive Water Resources Plan of Iran Reports. Karkheh River Basin, Iran Ministry of Energy.
**9-** Magilligan F., and Nislow K. 2005. Changes in hydrologic regime by dams. Geomorphology Journal. 71 (1-2):61-78.
10- Porhemmat J., Siadat H., and Oweis T. 2012. Water Resources of the Karkheh River Basin: Hydroligy, Runoff and water Balance. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas.
11- Salahshouri P., and Vafaei Nezhad A.R. 2012. Change detection of Karkheh River floodplain of the Karkheh Dam Reservoir using remote sensing and GIS. Journal of Applied RS & GIS Techniques in Natural Resources Science. 3(3):85-99.
12- Stuefer S., Yang D., and Shiklomanov A. 2011. Effect of streamflow regulation on mean annual discharge variability of the Yenisei River, Cold Region Hydrology in a Changing Climate (Proceedings of symposium H02 held during IUGG2011), Melbourne, Australia.
13- Tarazkar M.H., and Sedghamiz A. 2008. Comparing monthly discharge forecasting for Karkheh River by using time series and artificial intelligent traits. Pajouhesh & Sazandegi. 80:51-58.
14- Yan Y., Yang Zh., Liu Q., and Sun T. 2010. Assessing effects of dam operation on flow regimes in the lower Yellow River. Procedia Environmental Sciences. 2:507–516.

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 1, Mar.-Apr. 2017, p. 11-27

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۶، ص. ۲۷-۱۱

# Large Dam Effects on Flow Regime and Hydraulic Parameters of river (Case study: Karkheh River, Downstream of Reservoir Dam)

**F. Azarang[1*] – A.R. Telvari[2] – H. Sedghi[3] – M. Shafaie Bajestan[4]**

Received: 16-08-2015
Accepted: 06-08-2016

**Introduction:** The critical role of the rivers in supplying water for various needs of life has led to engineering identification of the hydraulic regime and flow condition of the rivers. Hydraulic structures such dams have inevitable effects on their downstream that should be well investigated. The reservoir dams are the most important hydraulic structures which are the cause of great changes in river flow conditions.

**Materials and Methods**: In this research, an accurate assessment was performed to study the flow regime of Karkheh river at downstream of Karkheh Reservoir Dam as the largest dam in Middle East. Karkheh River is the third waterful river of Iran after Karun and Dez and the third longest river after the Karun and Sefidrud. The Karkheh Dam is a large reservoir dam built in Iran on the Karkheh River in 2000. The Karkheh Reservoir Dam is on the Karkheh River in the Northwestern Khouzestan Province, the closest city being Andimeshk to the east. The part of Karkheh River, which was studied in this research is located at downstream of Karkheh Reservoir Dam. This interval is approximately 94 km, which is located between PayePol and Abdolkhan hydrometric stations. In this research, 138 cross sections were used along Karkheh River. Distance of cross sections from each other was 680m in average. The efficient model of HEC-RAS has been utilized to simulate the Karkheh flow conditions before and after the reservoir dam construction using of hydrometric stations data included annually and monthly mean discharges, instantaneous maximum discharges, water surface profiles and etc. Three defined discharges had been chosen to simulate the Karkheh River flow; maximum defined discharge, mean defined discharge and minimum defined discharge. For each of these discharges values, HEC-RAS model was implemented as a steady flow of the Karkheh River at river reach of study. Water surface profiles of flow, hydraulic parameters and other results of flow regime in HEC-RAS model were obtained for the conditions before and after the construction of the Karkheh Reservoir Dam and then it was reviewed and analyzed.

**Results and Discussion**: By exploiting the Karkheh Reservoir Dam, the river flow was changed from the natural condition to the regulatory situation. The results indicate that the river flow was considerably declined because the regulatory effect of the reservoir dam which has contributed to the great alternations at hydraulic parameters of the river. For example, the mean annual discharge of the Karkheh River shows 44pecent reduction during the time period of simulating (after the dam construction in comparison with the natural river flow before construction of reservoir dam) in PayePol hydrometric station. Flow velocity of Karkheh River is influenced by discharge, slope of the river channel and geometry of cross section. By increasing the river flow, the flow velocity has increased and there is a significant difference between pre and post-dam condition at the mean velocity of river flow in different sections. The flow area is directly influenced by river discharge and there is a significant difference in the maximum defined discharge before and after dam construction. The width of water surface is a parameter of the geometric situation of the river cross section that also shows the maximum width of the cross sections, passing discharge through the desired cross section. Since Karkheh River has a relatively large water surface width, it has a high wetted perimeter. For this reason, the Karkheh river hydraulic radius is usually low. The significant reduction of all these quantities is for reduction of flow rate by construction of Karkheh Reservoir Dam. Studying the water surface profiles represents reduction of water level in the longitudinal profile of Karkheh River and water level of hydrometric stations by construction of the Karkheh Reservoir Dam. Also, due to the reduction of the discharge in the downstream of Karkheh Dam, all hydraulic parameters of the river such as flow velocity, flow area, width of surface water, hydraulic depth, shear stress and the hydraulic radius have been changed. In general, it can be concluded that the construction of a large dam such

1- Young Researchers and Elites Club, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: f.azarang@srbiau.ac.ir)
2- Department of Civil Engineering, Ahwaz Branch, Islamic Azad University, Ahwaz
3 - Professor of Department of Water Science and Engineering, Scince and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
4 - Professor of Department of Water science and Engineering, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran

as Karkheh Reservoir Dam has a significant effects on the flow regime conditions at river downstream. Our survey would be helpful for environmental, geological and ecological experiments on effects of dam construction and for engineering next hydraulic structures on such rivers.

**Keywords:** Basin, Hydrometric Station, Water Level Profile, Defined Discharge, Hydraulic Radius