

تأثیرات آبیگری سد گتوند علیا بر کیفیت آب رودخانه کارون

صفورا شطی*^۱علی محمد آخوند علی^۲

چکیده

سد گتوند علیا بلندترین سد خاکی کشور و آخرین سد احداث شده بر روی رودخانه کارون قبل از ورود به دشت خوزستان در منطقه گتوند می باشد. نگرانی اصلی کارشناسان قبل از آبیگری سد، مسئله حل شدن توده نمکی عنبل در مخزن سد و به تبع آن تحت تأثیر قرار گرفتن آب کارون در پایین دست آن بوده است. این مطالعه باهدف بررسی روند تغییرات هدایت الکتریکی آب رودخانه کارون به منظور بررسی تأثیرات آبیگری سد گتوند علیا (مرداد ۱۳۹۰) بر کیفیت آب رودخانه کارون در بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ در مقطع گتوند انجام گرفته است. بدین منظور در این تحقیق از آزمون های ناپارامتریک من-کندال و پتیت به ترتیب برای بررسی روند و تعیین نقطه شکست و از شاخص SDI جهت محاسبه خشک سالی هیدرولوژیک سری های زمانی استفاده شده است. نتایج نشان داده اند که افزایش چشمگیر هدایت الکتریکی در رودخانه کارون در سال های اخیر امری انکارناپذیر است و علت اصلی این امر، کاهش شدید جریان رودخانه از سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۶ و تداوم این وضعیت تاکنون است؛ بنابراین تغییرات شوری کارون از سه سال قبل از آبیگری سد گتوند شروع شده است. با استناد به نتایج این تحقیق، کیفیت آب در محل سد تنظیمی گتوند تغییر ملموسی نسبت به شرایط قبل از آبیگری نداشته است.

واژه های کلیدی:

خشک سالی هیدرولوژیک، رودخانه کارون، سد گتوند علیا، هدایت الکتریکی

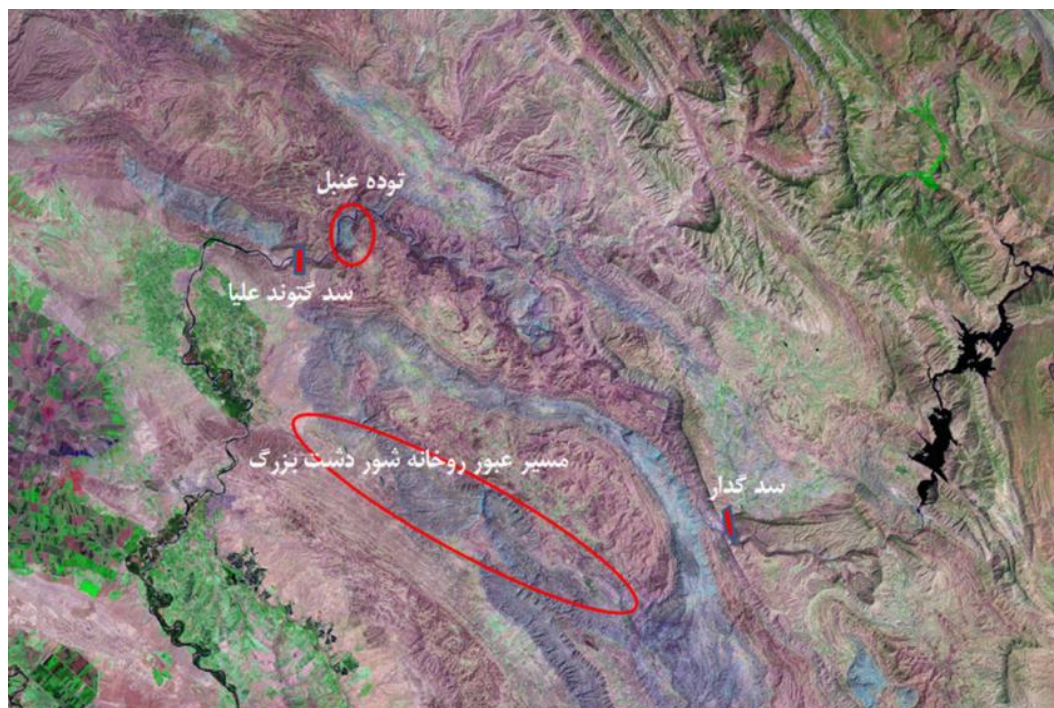
*۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب. دانشکده مهندسی علوم آب. دانشگاه شهید چمران اهواز. safoorashatti71@gmail.com

۲. استاد، گروه هیدرولوژی و منابع آب. دانشکده مهندسی علوم آب. دانشگاه شهید چمران اهواز.

مقدمه

حداصل سد مسجدسلیمان تا بند تنظیمی گتوند از آن عبور کرده، سازند گچساران^۲ است. رودخانه شور دشت بزرگ که در پایین دست سد تنظیمی با شوری بیش از ۲۰ هزار میکروزیمنس بر سانتی متر به کارون می پیوندد نیز از همین سازند عبور می کند. به طور کلی در دو نقطه از زاگرس شامل شمال رامهرمز^۳ و منطقه عنبل^۴ در تکیه گاه چپ مخزن و در ۴/۵ کیلومتری بالادست سد گتوند علیا، رخنمون سطحی نمک وجود دارد (موسسه آب دانشگاه تهران، ۱۳۹۴). موقعیت سازند گچساران با رنگ آبی در شکل شماره (۱) نمایش داده شده است.

سد گتوند علیا^۱ بلندترین سد خاکی ایران بوده و عملیات اجرایی آن باهدف تولید انرژی و تأمین آب شرب و کشاورزی از سال ۱۳۷۶ آغاز و در مرداد سال ۱۳۹۰ به بهره برداری رسید. این سد آخرین سد ساخته شده بر رودخانه کارون قبل از ورود به دشت خوزستان در منطقه گتوند است. در بالادست سد گتوند علیا به ترتیب سدهای مسجدسلیمان، شهید عباسپور (کارون ۱)، کارون ۳ و کارون ۴ ساخته شده است. یکی از سازندهایی که رودخانه کارون در محدوده



شکل شماره (۱): موقعیت سازند گچساران در محدوده مطالعاتی (شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، ۱۳۸۹)

۱۳۷۷-۱۳۹۲ پرداختند. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که بیشترین شکست معنی دار در سال ۱۳۸۶ رخ داده است. ضیاء و همکاران^۷ در سال ۱۳۹۴، به بررسی مسئله سازند گچساران مخزن سد گتوند علیا پرداختند. تحقیق آن ها نشان داد که به طور متوسط تنها حدود ۱۹ درصد توده عنبل نمک است و مابقی اجزا آن شامل مارن و گچ می باشد. حسنوند و همکاران^۸ در سال ۱۳۸۹، به بررسی تغییرات کیفی آب موجود در فرازبند سد گتوند علیا پرداختند. مقایسه نتایج به دست آمده سال ۱۳۸۸ با مقادیر موجود در

شطی و آخوندعلی^۵ در سال ۱۳۹۷، در مقاله ای به بررسی اثرات دوره خشک سالی هیدرولوژیک اخیر بر میزان شوری رودخانه کارون پرداختند. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که همزمان با شروع خشک سالی هیدرولوژیک و کاهش شدید دبی رودخانه کارون از سال ۱۳۸۶، متوسط هدایت الکتریکی در ایستگاه های گتوند و اهواز به ترتیب ۳۷ و ۵۶ درصد افزایش داشته است. ناظری تهرودی و شهیدی^۶ در سال ۱۳۹۶، به بررسی تأثیر احداث سد گتوند در تغییرات سری زمانی پارامترهای کیفی رودخانه کارون در بازه زمانی

۵. Shatti and Akhoond-ali
۶. Nazeri Tahroudi and Shahidi
۷. Zia et all
۸. Hasanvand et all

۱. Gotvand Olya Dam
۲. Gachsaran
۳. Ramhormoz
۴. Anbal

بررسی وقوع خشک‌سالی هیدرولوژیک و تحلیل روند متغیر- های هیدرولوژیک در سراسر جهان صورت گرفته است. موارد زیر می‌تواند به‌عنوان نمونه در این خصوص ذکر گردد: عبادی فر و همکاران^{۱۲} در سال ۱۳۹۶ پس از بررسی دوره- های خشک‌سالی هیدرولوژیک با استفاده از شاخص SDI^{۱۳} در حوضه آبریز رودخانه گرگانرود استان گیلان، نشان داده- اند که شدیدترین خشک‌سالی در سال آبی ۸۷-۸۶ مشاهده شده است. اکبری ولنی و مصباح زاده^{۱۴} در سال ۱۳۹۶، روند خشک‌سالی هیدرولوژیک با استفاده از آزمون من-کندال^{۱۵} در شش ایستگاه هیدرومتری استان البرز را مورد بررسی قرار دادند. سلیمانی ساردو و بهره‌مند^{۱۶} در سال ۲۰۱۴، به ارزیابی خشک‌سالی هیدرولوژیک با استفاده از شاخص SDI در حوضه هلیل‌رود^{۱۷} ایران پرداختند. نتایج نشان داد که همبستگی بالایی بین شاخص بارش استاندارد به‌عنوان شاخص هواشناسی و شاخص هیدرولوژیک وجود دارد. طبری و همکاران^{۱۸} در سال ۲۰۱۳، اقدام به ارزیابی خشک‌سالی هیدرولوژیک با استفاده از شاخص SDI در شمال غرب ایران کردند. نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها بیانگر آن است که تقریباً تمام ایستگاه‌ها از خشک‌سالی شدید رنج می‌برند. فیشر و همکاران^{۱۹} در سال ۲۰۱۳، از نمایه دبی استاندارد شده (SDI) در مقیاس دوساله برای تحلیل خشک‌سالی‌ها در شش حوضه جنوب چین استفاده نمودند. دوهان و پاندی^{۲۰} در سال ۲۰۱۳ به مطالعه تغییرات زمانی و مکانی بارش ۱۰۲ ساله منطقه مادی‌عاپاداش^{۲۱} هندوستان پرداختند. کتاتا و همکاران^{۲۲} در سال ۲۰۱۱، کیفیت آب زیرزمینی آبخوان عمیق گابس^{۲۳} در جنوب شرق تونس و عوامل مؤثر بر آن را بررسی نمودند. ناظری تهرودی و همکاران در سال ۱۳۹۶، به بررسی روند بارش با استفاده از آزمون نا پارامتریک من-کندال اصلاح شده و با حذف کامل ساختار خودهمبستگی حوضه دریاچه ارومیه پرداختند.

سال ۱۳۸۶ نشان می‌دهد که مقدار pH^۱ و EC^۲ افزایش یافته است؛ و کاهش کیفیت آب را می‌توان به حضور سازندهای گچساران و آغاچاری^۳ در منطقه نسبت داد. زارعی و همکاران^۴ در سال ۱۳۸۵، در تحقیقی به بررسی تأثیر سازند گچساران بر کیفیت آب رودخانه کارون در استان خوزستان و مقایسه آن با رودخانه دز^۵ پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها حاکی از آن بود که شوری آب رودخانه در فصل تر افزایش می‌یابد. علت این افزایش را می‌توان به گسترش سازند گچساران نسبت داد. اوپانگ و همکاران^۶ در سال ۲۰۰۶، داده‌های کیفیت آب سطحی ۲۲ ایستگاه رودخانه جونز^۷ آمریکا را در طول سال‌های ۲۰۰۱-۱۹۹۸ با آنالیزهای آماری مورد بررسی قرار دادند. هوبن^۸ در سال ۲۰۰۹، در تحقیقی کیفیت آب زیرزمینی حوضه آبریز کابل^۹ (در افغانستان) در دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ را مورد بررسی قرار داد. نتایج بیانگر آن است که وقوع خشک‌سالی‌های متوالی، سختی و شوری آب زیرزمینی این ناحیه را افزایش داده است.

انحراف از شرایط عادی متغیرهایی مانند بارندگی، رطوبت خاک، آب زیرزمینی و جریان رودخانه به‌عنوان خشک‌سالی قلمداد می‌شود (رنجبر و همکاران^{۱۰}، ۱۳۹۳). در اثر کمبود بارش بر یک منطقه وسیع و برای یک دوره زمانی طولانی، حجم جریان رودخانه‌ها یا سطح آب‌های زیرزمینی کاهش می‌یابد و منجر به وقوع خشک‌سالی هیدرولوژیک می‌شود (ویل‌هایت و گلانتز^{۱۱}، ۱۹۸۵). هدایت الکتریکی (EC) در شرایط ثابت زمین‌شناسی و خاک‌شناسی حوضه‌های آبریز معمولاً با کاهش دبی، افزایش می‌یابد (موسسه آب دانشگاه تهران، ۱۳۹۴). با توجه به گسترش سازند گچساران در منطقه، کاهش میزان دبی را می‌توان به‌عنوان مهم‌ترین عامل و چالش تأثیرگذار بر کیفیت آب کارون تا مقطع گتوند بیان نمود. طی سال‌های اخیر مطالعات گسترده‌ای در زمینه‌ی

۱۳. Stream flow Drought Index

۱۴. Akbari Vlny and Mesbahzadeh

۱۵. Mann-Kendall

۱۶. Soleimani-Sardou and Bahramand

۱۷. Haleil Rood

۱۸. Tabari et all

۱۹. Fisher et all

۲۰. Duhan and Pandey

۲۱. Madhya Pradesh

۲۲. Ketata et all

۲۳. Gabes

۱. Potential of Hydrogen

۲. Electrical Conductivity

۳. Aghajari

۴. Zarei at all

۵. Dez River

۶. Uyang et all

۷. River Jones

۸. Houben

۹. Kabul

۱۰. Ranjbar et all

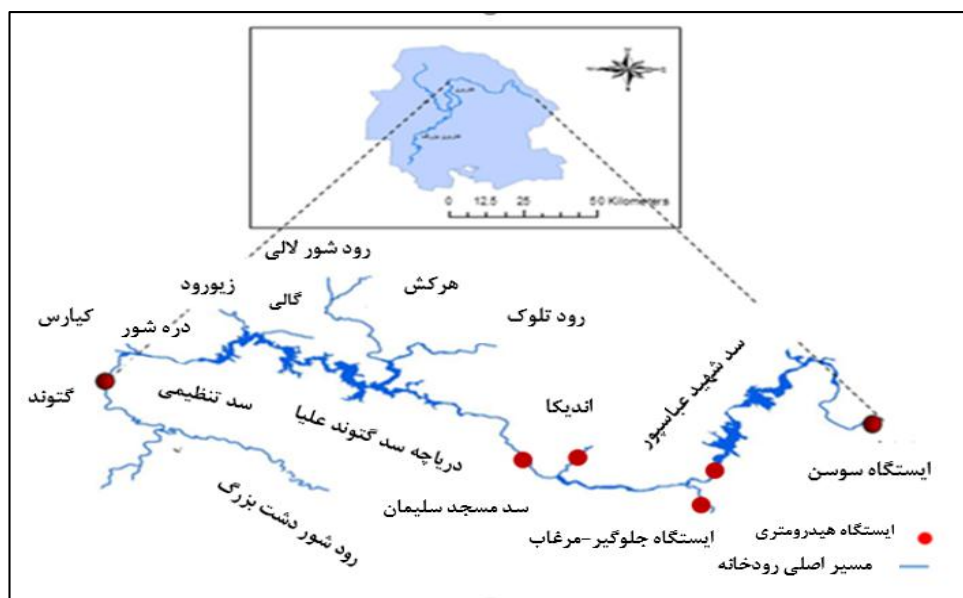
۱۱. Wilhite and Glantz

۱۲. Ebadifar et all

مواد و روش ها

در این تحقیق در مرحله اول اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری سوسن، شهید عباسپور، جلوگیر-مرغاب^۲، اندیکا^۳، مسجدسلیمان و سد تنظیمی گتوند از سازمان آب و برق خوزستان و شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس تهیه گردید. مسیل‌ها و شاخه‌های شور طبیعی (مرغاب، اندیکا، لالی، تلوک، دره شور، کیارس و ...) و گسترش سازند گچساران در این منطقه از جمله عوامل پایین آورنده کیفیت آب رود کارون می‌باشند. موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در مسیر رودخانه در شکل شماره (۲) ارائه شده است.

از مرور منابع استنباط می‌شود که تحقیق کاملی در خصوص کیفیت آب رودخانه کارون در سال‌های پس از آگیری سد صورت نگرفته است. لذا هدف از انجام این پژوهش، یافتن ارتباط بین وقوع خشک‌سالی هیدرولوژیک، آگیری سد گتوند و شوری آب رودخانه کارون با اعمال روش‌های نا پارامتریک من-کندال و پتیت^۱ و استفاده از شاخص SDI می‌باشد. با توجه به اینکه کیفیت آب در ایستگاه گتوند صرفاً تحت تأثیر شرایط طبیعی رودخانه است و زهکش زمین‌های کشاورزی و همچنین پساب صنعتی و شهری در آن نقشی ندارد، این ایستگاه می‌تواند تحلیل دقیق‌تری از تأثیر آگیری سد گتوند علیا در افزایش شوری آب رودخانه کارون در اختیار ما قرار دهد.



شکل شماره (۲): موقعیت منطقه مورد مطالعه

داده‌های پرت، داده‌های گم‌شده و فرض نرمال داده‌ها کمتر حساس بوده و همچنین در این روش‌ها نیازی به تعیین خطی و یا غیرخطی بودن روند داده‌ها نیست، از کاربرد گسترده‌تر و چشم‌گیری نسبت به روش‌های پارامتریک برخوردارند (ناظری تهرودی و همکاران، ۱۳۹۶). فرض اصلی مطالعات تحلیل روند با آزمون MK، مستقل بودن و عدم وجود خودهمبستگی معنی‌دار در داده‌های نمونه است. با این وجود ممکن است برخی سری‌های هیدرولوژیک مانند دبی جریان، دارای ضریب خودهمبستگی معنی‌دار باشند؛

در این پژوهش جهت بررسی همگنی و وجود روند داده‌های هدایت الکتریکی و دبی در بازه زمانی ۱۳۸۰-۱۳۹۵ از آزمون‌های ناپارامتریک پتیت و من-کندال و از شاخص خشک‌سالی جریان رودخانه (SDI) به منظور تعیین خشک‌سالی هیدرولوژیک استفاده شد. یکی از روش‌های پرکاربرد در بررسی تغییر روند داده‌ها، آزمون نا پارامتریک من-کندال است. این روش یکی از بهترین روش‌های آشکارسازی و تعیین روند داده‌های اقلیمی است (هلسل و هیریش^۴، ۱۹۹۲). از آنجاکه روش‌های ناپارامتریک به مقادیر

۲. Andika
۴. Helsel and Hirsch

۱. Pettit
۲. Marghab

داده از آمار تحلیلی تا تحلیل داده‌های چند متغیره را دربر می‌گیرد (قاجارنیا و همکاران^۴، ۱۳۹۳).

در نهایت با استفاده از شاخص SDI به بررسی وقوع و یا عدم وقوع خشک‌سالی هیدرولوژیک در منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است. خشک‌سالی هیدرولوژیک با کمبود جریان در جنبه‌های مختلفی از جمله جریان سطحی رودخانه‌ها، سطح مخازن و افت سطح ایستایی در سفره‌های آب زیرزمینی بروز می‌کند. به دلیل پیچیدگی‌های حاکم بر سیکل هیدرولوژیک، شناخت و تفسیر این نوع خشک‌سالی نیازمند داده‌های زیاد با طول دوره آماری بلندمدت و دخالت متغیرهای متنوعی است. در این خصوص شاخص‌های PHDI^۵ و SWSI^۶ به دلیل نیازمندی به داده‌های زیاد عملاً در بسیاری از مناطق دنیا کارایی ندارند (اسلامی و شکوهی^۷، ۱۳۹۲). از این منظر، پژوهشگران بسیاری لزوم ارائه شاخصی ساده، قابل فهم و انجام‌شدنی با استفاده از داده‌هایی مانند دبی جریان سطحی رودخانه را مورد تأکید قرار دادند. حاصل تلاش پژوهشگران، منجر به ارائه شاخص هیدرولوژیک SDI شده است. این شاخص توسط نالبانتیس ارائه شد و سپس در سال ۲۰۰۹ توسط نالبانتیس و تیساکیریس^۸ برای مشخص کردن خشک‌سالی هیدرولوژیک توسعه داده شد (نالبانتیس و تیساکیریس، ۲۰۰۸). در جدول (۱) طبقه‌بندی حالت‌های مختلف خشک‌سالی برای شاخص SDI ارائه شده است. جهت اطلاع از آماره آزمون‌های من-کندال، پتیت و خشک‌سالی هیدرولوژیک به ترتیب به کومار و همکاران^۹ (۲۰۰۹)، پتیت (۱۹۷۹) و نالبانتیس و تیساکیریس (۲۰۰۸) مراجعه شود.

بنابراین لازم است قبل از انجام آزمون، اجزای خودهمبستگی از سری داده‌ها حذف شود. این فرآیند اصطلاحاً پیش سفید کردن نامیده می‌شود (ترابی پوده و امامقلی‌زاده^۱، ۱۳۹۴). در این پژوهش از روش حامد و راثو^۲ به منظور حذف اثر کامل ضرایب خودهمبستگی استفاده شد. در این آزمون همه ساختار خود همبستگی معنی‌دار در سری زمانی بررسی و حذف می‌گردد. حامد و راثو نشان دادند که در این روش، معنی‌داری روند دقیق‌تر از روش من-کندال مرسوم بوده و اثری بر توان (قدرت) آزمون ندارد (ناظری تهرودی و همکاران^۳، ۱۳۹۶). به منظور بررسی وقوع نقطه تغییر در سری‌های زمانی از آزمون ناپارامتریک پتیت استفاده شده است. آزمون پتیت از نوع رتبه‌ای و توزیع آزاد بوده که برای تعیین معنی‌داری تغییر در میانگین یک سری زمانی به کار گرفته می‌شود. به‌ویژه این آزمون زمانی که هیچ‌گونه فرضی در مورد مکان نقطه تغییر وجود ندارد، بسیار مناسب و کاربردی است (سالاری جزی و همکاران^۳، ۱۳۹۰). در این پژوهش به منظور اعمال آزمون‌های من-کندال و پتیت از نرم‌افزار XLSTAT استفاده شده است. XLSTAT یک جعبه‌ابزار آماری بسیار مفید و قابل نصب بر روی نرم‌افزار Microsoft Excel است که در سال ۱۹۹۳ توسط شرکت Addinsoft و به منظور افزایش قابلیت تحلیل‌های آماری Excel توسعه داده شده است. این نرم‌افزار حیطة وسیعی از توابع آماری و تحلیل

جدول (۱): وضعیت خشک‌سالی هیدرولوژیک بر اساس شاخص SDI (نالبانتیس و تیساکیریس، ۲۰۰۸)

حالت	محدوده	وضعیت خشک‌سالی
۰	$SDI > 0$	فاقد خشک‌سالی
۱	$-1 \leq SDI < 0$	ملايم
۲	$-1/5 \leq SDI < -1$	متوسط
۳	$-2 \leq SDI < -1/5$	شدید
۴	$SDI \geq -2$	خیلی شدید

۶. Surfer Water Supply Index
۷. Eslami and Shokouhi
۸. Nalbantis and Tsakiris
۹. Kumar et all

۱. Torabi Poda and EmamgholamiZade
۲. Hamed and Rao
۳. Salari Jazi and et all
۴. Ghajarnia et all
۵. Palmer Hydrological Drought Index

نتایج و بحث

نتایج آزمون من-کندال

تحلیل و بررسی قرار گرفت. مثبت یا منفی بودن شاخص tau بیان کننده صعودی و نزولی بودن روند است. چنانچه شاخص p-value کمتر از ۰/۰۱ باشد، روند در سطح ۰/۹۹ معنی دار است. با توجه به نتایج جدول شماره ۲، داده‌های هدایت الکتریکی و دبی در سال‌های مشترک آماری ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ به ترتیب روند صعودی غیر معنی دار و نزولی معنی دار را در طول بازه زمانی مورد مطالعه خود تجربه کرده‌اند.

جدول شماره (۲) نتایج آزمون من-کندال ایستگاه گتوند از لحاظ معنی داری یا غیر معنی داری روند (مثبت، منفی یا بدون روند) در بازه زمانی شانزده ساله (با پیش فرض عدم وجود نقطه تغییر) برای پارامتر هدایت الکتریکی و دبی را نشان می‌دهد. این آزمون در سطح معنی داری ۱ درصد مورد

جدول (۲): نتایج آزمون من - کندال بر سری زمانی هدایت الکتریکی

نام ایستگاه	پارامتر	Kendall's tau	p-value
سد تنظیمی گتوند	دبی	-۰/۵	۰/۰۰۰۱**
	هدایت الکتریکی	۰/۳۳۳	۰/۰۷۹ns

** معنی داری در سطح ۱٪

ns فاقد معنی داری

می‌بایست روند در هر جز سری به صورت جدا مورد بررسی قرار گیرد. نتایج آزمون پتیت بیانگر کاهش دبی و افزایش شوری رودخانه کارون از سال ۱۳۸۶ است؛ بنابراین تغییر در ساختار داده‌های هدایت الکتریکی از ۳ سال قبل از آگیری سد گتوند علیا و هم‌زمان با کاهش شدید در میزان دبی رودخانه شروع شده است. در شکل‌های (۳) و (۴) نمودار سری زمانی هدایت الکتریکی و دبی ایستگاه گتوند پس از اعمال آزمون پتیت قابل مشاهده است. به طور میانگین در بازه زمانی بعد از نقطه شکست (۱۳۸۷-۱۳۹۵) به قبل از آن (۱۳۸۰-۱۳۸۶)، هدایت الکتریکی ۳۷ درصد افزایش و دبی ۵۱ درصد کاهش داشته است.

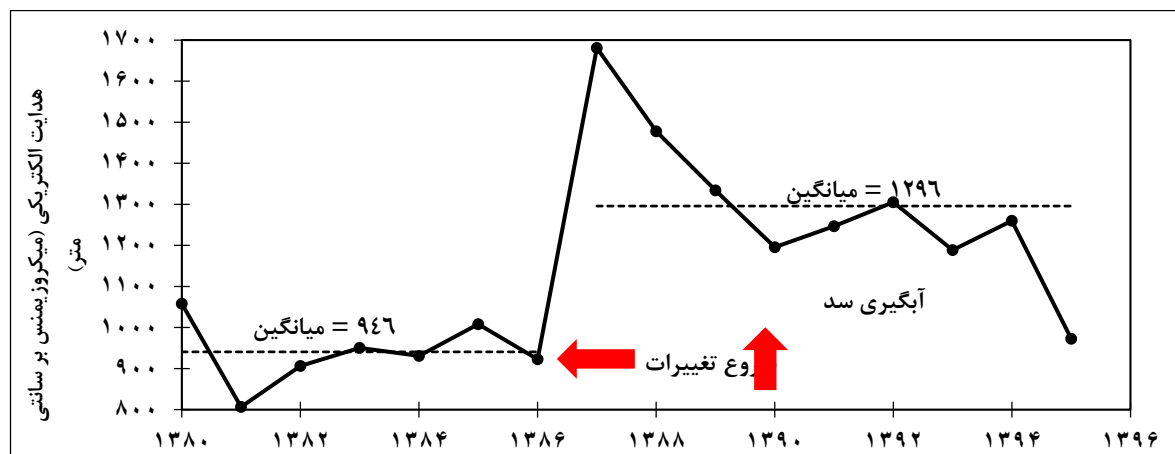
نتایج آزمون نقطه تغییر پتیت در سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۵ آزمون ناپارامتریک پتیت به منظور تعیین نقطه تغییر در سری‌های زمانی اعمال گردید. بدین منظور معنی داری آماری نقطه تغییر، در سطح احتمال ۱ درصد مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به جدول شماره (۳) در ایستگاه گتوند، سال ۱۳۸۶ به عنوان نقطه تغییر از نظر آماری برای هر دو پارامتر دبی و هدایت الکتریکی، تأیید شد. این بدان معنی است که سری زمانی باید از زمانی که در آن نقطه تغییر روی می‌دهد به دو جز سری ۱۳۸۰-۱۳۸۶ و ۱۳۸۷-۱۳۹۵ تقسیم شود؛ بنابراین به علت ایجاد تغییر ساختاری در داده‌ها

جدول شماره (۳): نتایج آزمون پتیت برای پارامتر هدایت الکتریکی

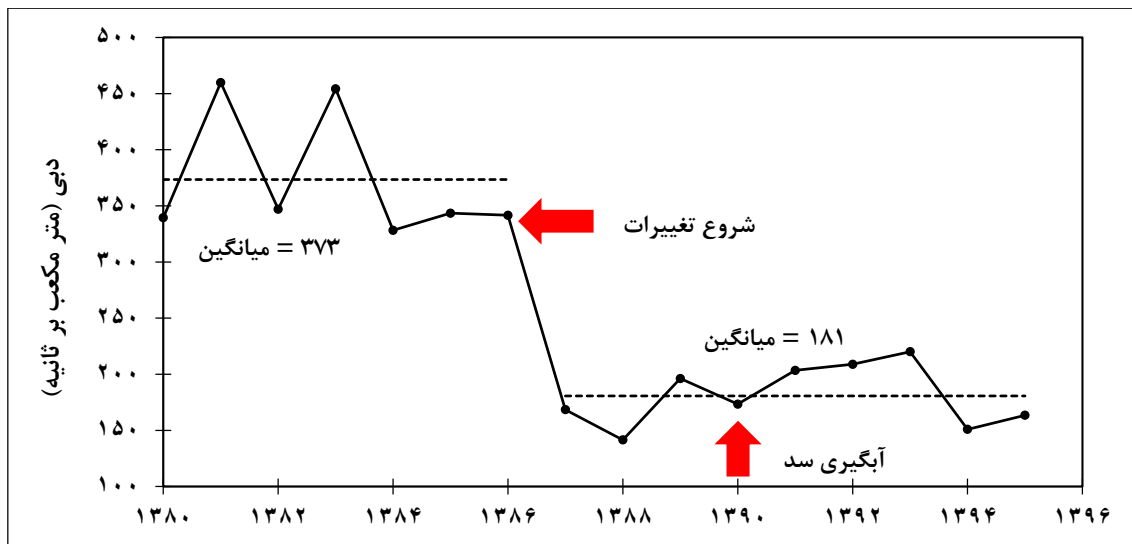
ایستگاه	پارامتر	p-value	همگنی	نقطه شکست
سد تنظیمی گتوند	دبی	۰/۰۰۰۱**	غیر همگن	۱۳۸۶
	هدایت الکتریکی	۰/۰۰۱**	غیر همگن	۱۳۸۶

** معنی داری در سطح ۱٪

ns فاقد معنی داری



شکل (۳): نتایج بررسی زمان تغییر روند سری زمانی هدایت الکتریکی سالانه ایستگاه هیدرومتری گتوند



شکل (۴): نتایج بررسی زمان تغییر روند سری زمانی دبی سالانه ایستگاه هیدرومتری گتوند

گتوند علیا در مرداد سال ۱۳۹۰ روند معنی داری که دلالت بر افزایش این پارامتر داشته باشد، بر داده‌های هدایت الکتریکی در فاصله زمانی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۵ اعمال نشده است (با توجه به جدول (۴) این روند کاهش است و فاصله چندانی با معنی دار شدن آن در سطح یک درصد وجود ندارد). برخی کارشناسان معتقدند که پس آبیگری سد گتوند دبی رودخانه به حالت نرمال خود (شرایط پرآبی قبل از نقطه شکست) بازگشته است. شکل (۵) به خوبی عدم صحت این نظریه را تأیید می‌کند؛ و بیانگر این واقعیت است که علی‌رغم به‌جود آمدن روند افزایشی جزئی در سری زمانی دبی سال-های ۹۵-۸۷، این روند با حالت معنی داری فاصله زیادی دارد.

نتایج آزمون من-کندال بر هر جزء سری

سری زمانی دبی و هدایت الکتریکی در سالی که آماره آزمون پتیت به مقدار حداکثر خود رسید، به دو جزء سری ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۵ تقسیم‌بندی شد. نتایج آزمون من-کندال بر هر جزء سری در جدول شماره (۴) مشخص شده است. بررسی داده‌های سری زمانی دبی، بیانگر آن است که در جزء سری اول و دوم به ترتیب روند نزولی و صعودی مشاهده شده معنی دار نیست؛ و نتایج تحلیل سری زمانی هدایت الکتریکی حاکی از آن است که به ترتیب در جزء سری اول و دوم روند صعودی و نزولی مشاهده شده، فاقد معنی داری است. این بدان معناست که با آبیگری سد

جدول (۴): نتایج اعمال آزمون من-کندال بر هر جزء سری زمانی هدایت الکتریکی

جزء سری دوم		جزء سری اول		پارامتر	نام ایستگاه
p-value	Kendall's tau	p-value	Kendall's tau		
۰/۴۶۶ ^{ns}	۰/۲۲۲	۰/۵۴۸ ^{ns}	-۰/۲۳۸	دبی	سد تنظیمی گتوند
۰/۰۱۶ ^{ns}	-۰/۶۷	۰/۹۹ ^{ns}	۰/۰۴۸	هدایت الکتریکی	

^{ns} معنی داری در سطح ۱٪

ns فاقد معنی داری

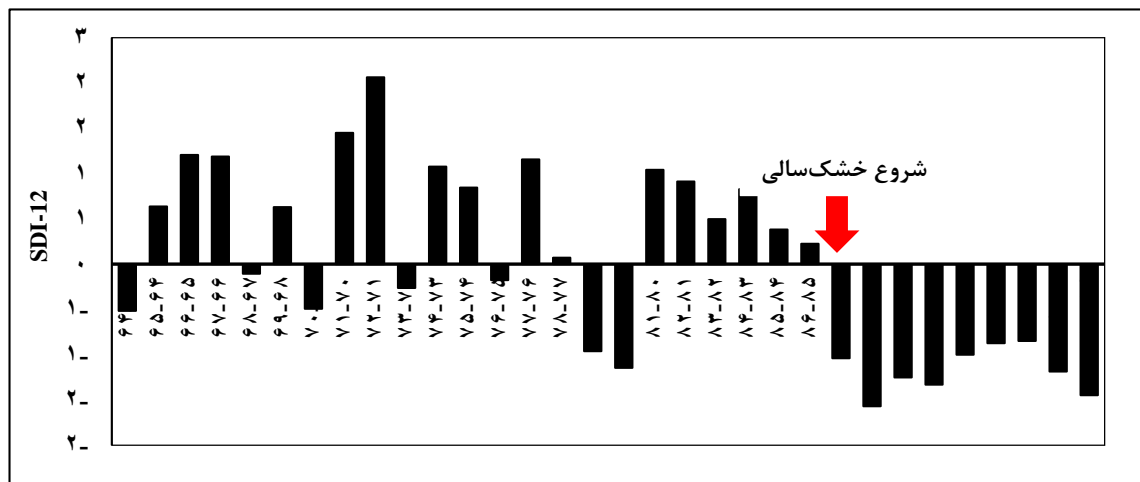
سال آبی ۸۷-۸۶ تا هم‌اکنون خشک‌سالی هیدرولوژیک طولانی مدت ۹ ساله برقرار بوده است. شدیدترین خشک‌سالی مربوط به سال آبی ۸۸-۸۷ است. با توجه به شکل (۶) در شاخه‌های شور طبیعی اندیکا و مرغاب نیز مطابق با آنچه در جریان اصلی رودخانه رخ داده است،

نتایج بررسی خشک‌سالی هیدرولوژیک

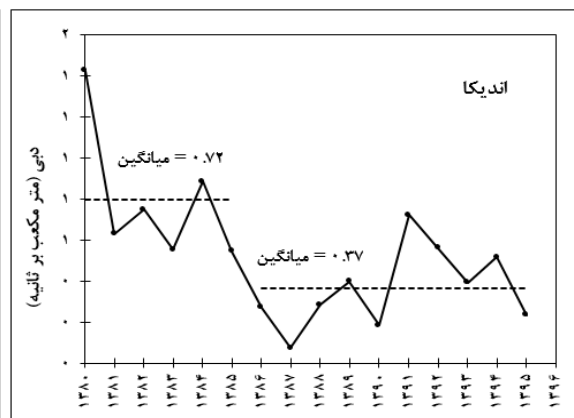
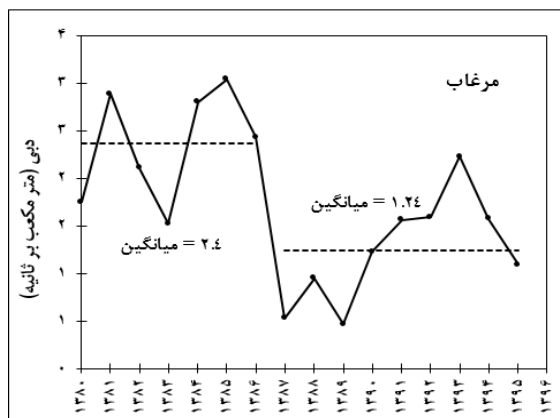
برای تأیید وقوع خشک‌سالی هیدرولوژیک در منطقه از شاخص SDI استفاده شد. با توجه به شکل شماره ۵ طی دوره آماری ۳۲ ساله (حداقل بازه زمانی برای دقیق‌تر بودن نتایج در این شاخص ۳۰ سال است)، در ایستگاه گتوند از

گسترش کشاورزی و صنایع آب بر در استان‌های مقصد باشد. سهم و اثرگذاری هر یک از عوامل در کاهش آب رودخانه کارون نیازمند مطالعات تکمیلی است. باین‌حال، کاهش شدید در میزان دبی رودخانه کارون از سال آبی ۸۶-۸۷ از جمله نتایج قطعی و مسلم این پژوهش است.

میانگین دبی سال‌های ۹۵-۸۷ نسبت به سال‌های ۸۶-۸۰ به ترتیب با ۴۸ و ۴۷ درصد کاهش مواجه بوده است. این کاهش دبی در منطقه ممکن است تحت تأثیر عوامل مختلفی چون کاهش سالانه بارندگی، انتقال آب بین حوضه‌ای و برداشت از سرشاخه‌ها برای مصارفی همچون



شکل شماره (۵): نمودار سری زمانی شاخص خشک‌سالی SDI



شکل شماره (۶): نمودار سری زمانی دبی سالانه در ایستگاه‌های هیدرومتری رودهای اندیکا و مرغاب

میکروزیمنس بر سانتی‌متر بوده است. بعد از سد شهید عباسپور در ایستگاه مسجدسلیمان میزان هدایت الکتریکی به ۶۰۶ میکروزیمنس بر سانتی‌متر افزایش می‌یابد. یکی از دلایل مهم آن اثر شاخه‌های مرغاب و شور اندیکا بر رودخانه است. از ایستگاه مسجدسلیمان تا ایستگاه گتوند میزان هدایت الکتریکی به ۹۰۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر افزایش یافته است. این افزایش ۳۰۲ واحدی به دلیل حضور گسترده سازند انحلال‌پذیر گچساران در دامنه وسیعی از حوضه آبریز رودخانه کارون در این منطقه و ورود رودخانه‌های شور لالی، دره شور و کیارس به کارون است.

بررسی تغییرات هدایت الکتریکی رودخانه کارون قبل از شروع خشک‌سالی و آبرگیری سد گتوند علیا

از جمله منابع تأثیرگذار طبیعی بر کیفیت آب رودخانه کارون در مقطع سد شهید عباسپور تا سد تنظیمی گتوند می‌توان به شاخه‌های مرغاب، اندیکا، شور لالی^۱، کیارس^۲ اشاره کرد. مقایسه نتایج برداشت کیفی از ایستگاه‌های هیدرومتری عباسپور، مسجدسلیمان و گتوند در بازه زمانی فعال بودن هر سه ایستگاه (۱۳۷۷-۱۳۷۰) بیانگر آن است که متوسط هدایت الکتریکی این ۸ سال در ایستگاه شهید عباسپور، مسجدسلیمان و گتوند به ترتیب ۵۰۶، ۶۰۶ و ۹۰۸

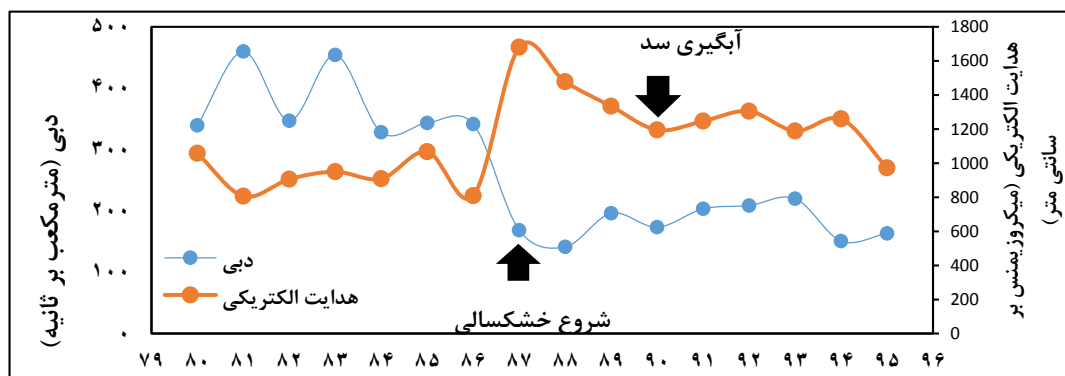
آماري ۸۹-۸۷ در ایستگاه گتوند ۱۴۹۸ و در سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۹۰ برابر با ۱۱۹۵ است. بر اساس اطلاعات استفاده شده در این تحقیق، کیفیت آب خروجی از مخزن سد تا سال ۱۳۹۵ تحت کنترل است و طی سال‌های اخیر، تغییر معنی‌داری نسبت به سال‌های قبل از آبیگری نداشته است (طبق نتایج آزمون من-کندال). کنترل روند تغییرات کیفیت آب خروجی از هر لایه مخزن، علاوه بر تعیین روند تغییرات کیفی آب لایه موردنظر، تعیین‌کننده روند تغییرات کیفی آب رودخانه در پایین‌دست نیز است.

تغییرات ناشی از آبیگری سد گتوند علیا

نگرانی اصلی کارشناسان قبل از آبیگری سد گتوند علیا، تماس مستقیم آب با بخش‌های جدید توده عنبل و انحلال نمک در مخزن سد و همچنین کاهش کیفیت آب رودخانه کارون در پایین‌دست سد خصوصاً در ماه‌های اولیه آبیگری بوده است. از این رو برای کنترل تماس مستقیم آب با سطح نمک، از خاک رس به‌عنوان پوششی مناسب برای کاهش سطح تماس و کنترل نرخ انحلال استفاده شد. وجود این پوشش مانع از ترک سریع نمک‌های حل‌شده از سطح نمک شده است. همچنین این پوشش به غلیظ و سنگین شدن آب شور و هدایت آن به عمق مخزن و عدم اختلاط آن با آب لایه‌های بالای مخزن کمک کرده است. از سویی دیگر، بالا آمدن تراز آب، تأثیر بسزایی در سیر طبیعی رودخانه ایجاد کرده است. این تأثیر ناشی از کاهش شدید سرعت جریان آب در طول مخزن بوده که موجب می‌شود جریان رودهای شور که قبلاً به دلیل سرعت بالای آب به محض ورود به رودخانه با آب عبوری ترکیب شده و موجب کاهش کیفیت آب در آن مقطع می‌شد، فرصت کافی برای حرکت به ترازهای پایین مخزن را داشته باشند و با آب لایه‌های بالا که همواره دارای کیفیت بالایی است، ترکیب نگردد.

بررسی تغییرات هدایت الکتریکی رودخانه کارون (۱۳۸۰-۱۳۹۵)

هدایت الکتریکی (EC) در شرایط ثابت زمین‌شناسی و خاک‌شناسی حوضه‌های آبریز معمولاً با کاهش دبی، افزایش می‌یابد. کیفیت آب رودخانه کارون متأثر و متناسب با کمیت آن بوده و با آن تناسب مستقیم دارد. در نتیجه افزایش آورد رودخانه به معنای افزایش کیفیت و کاهش آورد به معنای کاهش کیفیت خواهد بود (موسسه آب دانشگاه تهران، ۱۳۹۴). شکل شماره (۷) به‌خوبی بیانگر این موضوع است. برای بررسی میزان تأثیر آبیگری سد گتوند بر کیفیت آب کارون، ابتدا می‌بایست مبنای مقایسه مناسبی برای شرایط کیفی رودخانه کارون قبل از آبیگری سد در نظر گرفت. بر اساس نظریه اول، برای بررسی تأثیر سد گتوند بر کیفیت آب رودخانه کارون، می‌بایست متوسط شوری بعد از دوره آبیگری (۹۰-۹۵)، نسبت به متوسط شوری رودخانه در شرایط نرمال یعنی سال‌های ۸۶-۸۰ (بدون در نظر گرفتن خشک‌سالی قبل از آبیگری سد که همچنان نیز ادامه دارد) مقایسه شود. تحت این شرایط، افزایش شوری آب کارون، به‌اشتباه می‌تواند به آبیگری سد گتوند نسبت داده شود. طبق نظر دوم، با توجه به تغییر در روند داده‌های هدایت الکتریکی از سال ۸۶ (با استناد به نتایج آزمون پتیت)، به علت کاهش شدید در حجم آورد رودخانه و تداوم این وضعیت تا سال‌های اخیر (با استناد به نتایج شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیک SDI) عملاً مقایسه آمار بعد از آبیگری سد با دوره زمانی ۸۶-۸۰ (عدم وجود خشک‌سالی) منطقی به نظر نمی‌رسد. در نتیجه نظریه دوم مورد قبول واقع می‌گردد. در این شرایط، متوسط شوری در شرایط خشک‌سالی بعد از آبیگری سد (۹۰-۹۵) باید نسبت به متوسط شوری زمان خشک‌سالی قبل از آبیگری (۸۷-۸۹) مقایسه شود. متوسط هدایت الکتریکی سال‌های مشترک



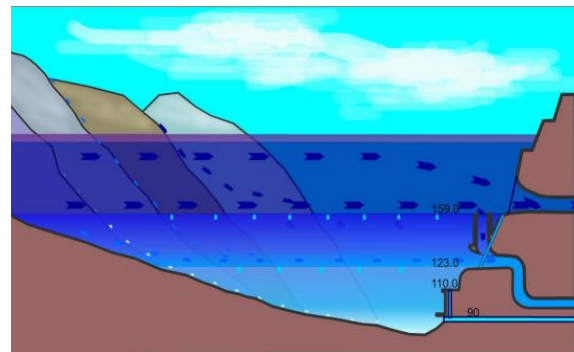
شکل (۷): نمودار تغییرات سری زمانی سالانه دبی و هدایت الکتریکی در ایستگاه گتوند

ایجاد امکان دسترسی به آب باکیفیت مناسب خروجی از سد مسجدسلیمان در محل سد گتوند است (شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، ۱۳۹۵). به مجموعه عملیاتی که برای کنترل کیفیت آب رودخانه در پایین دست و همزمان با کنترل کیفیت آب لایه‌های مختلف داخل مخزن انجام می‌شود، مدیریت کیفی مخزن گفته می‌شود. در سال‌هایی که آورد رودخانه کاهش می‌یابد و کیفیت آب رودخانه به دلیل ورود پساب‌های کشاورزی و سایر آلاینده‌ها به شرایط بحرانی می‌رسد، تمام حجم رهاسازی از ترازهای بالا و باکیفیتی بهتر از کیفیت آب طبیعی رودخانه صورت می‌گیرد. در نتیجه شوری طبیعی رودخانه در لایه‌های پایین مخزن ذخیره می‌شود. این نمک‌های ذخیره شده اضافی در فصول بارانی و ماه‌هایی که نیاز آبی پایین دست کاهش می‌یابد، از لایه‌های میانی و تحتانی به صورت کنترل شده به پایین دست تخلیه می‌شود. این تخلیه همواره در حد مجاز و بر اساس ضوابط صورت می‌گیرد؛ و امکان تأمین آب پایین دست باکیفیت بهتر از متوسط درازمدت رودخانه را فراهم می‌سازد (شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، ۱۳۹۵)؛ بنابراین مدیریت کیفی مخزن سد گتوند با کنترل حجم رهاسازی از ترازهای مختلف، عامل اصلی کنترل کیفیت هر یک از سه لایه مخزن با میزان دبی خروجی از آن لایه است.

نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق مطالعه روند تغییرات هدایت الکتریکی آب رودخانه کارون به منظور بررسی تأثیرات آبیگری سد گتوند علیا بر کیفیت آب رودخانه در بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ در مقطع گتوند بوده است. نتایج حاکی از آن است که از سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ در محل ایستگاه گتوند شاهد وقوع خشک‌سالی هیدرولوژیک و کاهش ۵۱ درصدی دبی رودخانه کارون بوده‌ایم. در شاخه‌های شور طبیعی اندیکا و مرغاب که به نوعی تحت تأثیر مجموعه سدهای مخزنی بالادست قرار ندارند نیز مطابق با آنچه در جریان اصلی رودخانه رخ داده است، میانگین دبی به ترتیب با ۴۸ و ۴۷ درصد کاهش مواجه بوده است. این کاهش دبی در منطقه ممکن است متأثر از دلایل مختلفی چون کاهش سالانه

دلیل این امر، گرادیان ناشی از تفاوت دانسیته آب شور و شیرین است. به سبب این امر، آب‌های شور ورودی در لایه‌های هم‌وزن خود قرار گرفته و لایه‌بندی مخزن صورت می‌گیرد (شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، ۱۳۹۵). لایه‌بندی مخزن در شکل شماره ۸ به صورت شماتیک قابل مشاهده است.



شکل شماره (۸): نحوه تغذیه بخش‌های مختلف مخزن سد گتوند علیا (شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، ۱۳۹۵)

مدیریت مخزن سد گتوند علیا

جدا شدن آب‌های باکیفیت متفاوت و لایه‌بندی مخزن سد گتوند، به مفهوم ایجاد امکان دسترسی به آب باکیفیت مناسب خروجی از سد مسجدسلیمان در محل سد گتوند است. مخزن سد گتوند از ۳ لایه تشکیل شده است:

۱. لایه تحتانی با حجمی کمتر از ۵ درصد حجم مخزن (از کف مخزن تا تراز ۱۲۳ متر از سطح دریا). آب شور ناشی از انحلال نمک توده گچساران عنبل طی مراحل آبیگری و همچنین آب چشمه‌های شور حوضه میانی در این لایه جای می‌گیرند.
۲. لایه میانی (از تراز ۱۲۳ تا تراز ۱۵۹ متر از سطح دریا). حفظ این لایه برای داشتن حاشیه ایمنی مناسب و جلوگیری از اختلاط مخزن تحت تأثیر عوامل خارجی، مهم است. کیفیت این لایه، با تخلیه بخشی از آب این لایه از مجرای تخلیه کننده تحتانی، کنترل می‌گردد. حجم تخلیه از این مجرا، تعیین کننده کیفیت لایه است. کاهش دبی خروجی، موجب تجمع شوری‌های سبک در این لایه و افزایش دبی خروجی، موجب جایگزین شدن آب باکیفیت لایه‌های بالا، با آب این لایه شده و کیفیت آب لایه را افزایش می‌دهد.
۳. لایه فوقانی (از تراز ۱۵۹ تا تراز سطح آب) که بیش از ۸۰ درصد حجم مخزن را تشکیل می‌دهد. جدا شدن آب‌های باکیفیت متفاوت و لایه‌بندی مخزن سد گتوند، به مفهوم

۷- سالاری جزی، م؛ آخوند علی، ع.م و دانش خواه ع. (۱۳۹۰). "آزمون روند و تحلیل دگرگونی در سری‌های زمانی آب دهی رودخانه کارون در ایستگاه اهواز (رویکرد نا پارامتریک)". ششمین کنگره ملی مهندسی عمران.

۸- شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس. (۱۳۹۵). گزارش جامع کیفیت آب مخزن و خروجی.

۹- شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس. (۱۳۸۹). گزارش جامع مطالعات توده گچساران عنبل.

۱۰- شطی، ص؛ و آخوندعلی، ع. م. (۱۳۹۷). "بررسی اثرات دوره خشک‌سالی هیدرولوژیک اخیر بر میزان شوری رودخانه کارون". نشریه آبیاری زهکشی ایران، 12(5). ۱۱۸۹-۱۲۰۲.

۱۱- ضیاء، ع؛ غلامی، م. ع؛ محجوب، د و ابتکار، ا. (۱۳۹۴). "مروری بر مسئله سازند گچساران مخزن سد گتوند علیا قسمت اول: معرفی و تشریح ابعاد مسئله". دومین کنفرانس ملی مکانیک و مهندسی پی دانشکده مهندسی عمران.

۱۲- عبادی فر، م؛ قدرتی جوکندان، م؛ و قدرتی جوکندان، ج. (۱۳۹۶). "بررسی دوره‌های خشک‌سالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص SDI (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه گرگان‌رود در استان گیلان)". دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران. دانشگاه شهرکرد.

۱۳- قاجارنیا، ن؛ لیاقت، ع و دانش‌کار آراسته، پ. (۱۳۹۳). "صحت سنجی داده‌های بارندگی ایستگاه‌های غیر ثبات سازمان هواشناسی و تماب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه". نشریه حفاظت منابع آب‌و خاک، 4(1). ۹۱-۱۰۹.

۱۴- موسسه آب دانشگاه تهران. (۱۳۹۴). مطالعه و بررسی راهکارهای رفع شوری آب مخزن سد گتوند و انتخاب راهکارهای برتر. گزارش شناخت

۱۵- ناظری تهرودی، م؛ احمدی، ف و خلیلی، ک. (۱۳۹۶). "بررسی روند و زمان تغییر روند بارش حوضه دریاچه ارومیه". نشریه آب‌و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، 31(2). ۶۴۴-۶۵۹.

۱۶- ناظری تهرودی، م؛ و شهیدی، ع. (۱۳۹۶). "بررسی تأثیر احداث سد گتوند بر تغییرات سری زمانی پارامترهای کیفی جریان". مجله تحقیقات منابع آب ایران، 13(3). ۱۷۵-۱۸۰.

17- Duhan, D. and Pandey, A. (2013). "Statistical analysis of long term spatial and temporal trends of precipitation during 1901-2002 at madhya pradesh. India". Atmospheric Research. 122,136-149.

18- Fisher, T. Gemmer, M. Su, B. and Scholten, T. (2013). "Hydrological long-term dry and wet periods in the xijiang river basin. South China". Hydrology and Earth system Sciences. 17, 135-148.

19- Hamed, K.H. and Rao, A.R. (1998). "A modified Mann Kendall trend test for autocorrelated data". Journal of Hydrology. 204, 182-196.

20- Helsel, D.R. and Hirsch, R. M. (1992). "Statistical Methods in Water Resource". Elsevier, Amsterdam.

21- Houben, G. (2009). "Hydrology of the Kabul Basin (Afghanistan)". Hydrogeology Journal, 17, 935-948.

22- Ketata, M. Hamzaoui, F. Gueddari, M. Bouhila, R. and Riberio, L. (2011). "Hydrochemical and statistical study of groundwaters Gabes-South Deep Aquifer (South-Eastern Tunisia)". Physics and Chemistry of the Earth. 36, 187-196.

بارندگی، انتقال آب بین حوضه‌ای و برداشت از سرشاخه‌ها برای مصارفی همچون گسترش کشاورزی و صنایع آب‌بر در استان‌های مقصد باشد. هدایت الکتریکی (EC) در شرایط ثابت زمین‌شناسی و خاک‌شناسی حوضه‌های آبریز معمولاً با کاهش دبی، افزایش می‌یابد. کیفیت آب رودخانه کارون متأثر و متناسب با کمیت آن بوده و با آن تناسب مستقیم دارد. در نتیجه افزایش آورد رودخانه به معنای افزایش کیفیت و کاهش آورد به معنای کاهش کیفیت خواهد بود. این بدان معناست که خشک‌سالی هیدرولوژیک و هم‌زمان با آن کاهش کیفیت آب رودخانه کارون از ۳ سال قبل از آبیگری سد گتوند علیا شروع شده است. کنترل روند تغییرات کیفیت آب خروجی از هر لایه مخزن، علاوه بر تعیین روند تغییرات کیفی آب لایه موردنظر، تعیین‌کننده روند تغییرات کیفی آب رودخانه در پایین‌دست نیز می‌باشد. بر اساس اطلاعات استفاده‌شده در این تحقیق، کیفیت آب خروجی از سد گتوند علیا تا سال ۱۳۹۵ تحت کنترل می‌باشد و طی سال‌های اخیر، تغییر معنی‌داری نسبت به سال‌های قبل از آبیگری نداشته است.

منابع مورداستفاده

- ۱- اسلامی، ع؛ و شکوهی، ع. (۱۳۹۲). "تحلیل وضعیت جریان رودخانه با استفاده از شاخص خشک‌سالی هیدرولوژیکی- محیط‌زیستی". نشریه علمی- پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، 5(2). ۱۲۵-۱۳۳.
- ۲- اکبری ولنی، ه؛ و مصباح زاده، ط. (۱۳۹۶). "بررسی روند خشک‌سالی هیدرولوژیکی با استفاده از آزمون من-کنندال (مطالعه موردی: استان البرز)". چهارمین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست.
- ۳- ترابی پوده، ح؛ و امامقلی زاده، ص. (۱۳۹۴). "تحلیل روند تغییرات آبدی رودخانه‌های حوضه رودخانه کرخه و تأثیر ضریب خودهمبستگی بر روند تغییرات جریان". مجله پژوهش آب ایران، 9(1). ۱۴۳-۱۵۱.
- ۴- حسونوند، م؛ دهرآزما، ب؛ حافظی مقدس، ن و کرمی، ر. (۱۳۸۹). "بررسی تغییرات کیفی آب موجود در فرازبند سد گتوند علیا".
- ۵- رنجبر، ع. خلیلی، د. زند پارسا، ش و کامگار حقیقی، ع.ا. (۱۳۹۳). "پایش خشک‌سالی منطقه‌ای بر اساس جریان ورودی به مخزن سد درودزن در استان فارس. مجله علوم و مهندسی آبیاری". 38(1). ۷۹-۹۶.
- ۶- زارعی، ح؛ آخوند علی، ع.م و داموغ، ن.ع. (۱۳۸۵). "بررسی تأثیر سازند گچساران بر کیفیت آب رودخانه کارون در استان خوزستان و مقایسه آن با رودخانه دز. هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه".

- 27- Tabari, H. Nikbakht, J. and Talaei, P.H. (2013). "Hydrological drought assessment in Northwestern Iran based on streamflow drought index (SDI)". *Water resources management*. 27(1). 137-151.
- 28- Uyang, Y. Nkedi-Kizza, P. Wu, Q. T. Shinde, D. and Huang, C. H. (2006). "Assessment of seasonal variations in surface water quality". *Water research*. 40(20). 3800-3810.
- 29- Wilhite, D.A. and Glantz M.H. (1985). "Understanding the drought phenomenon: the role of definitions". *Water International*. 10(3), 111-120.
- 23- Kumar, V. Merwade, J. and Thunder, K. (2009) "Streamflow trend in India: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains". *Journal of Hydrology*, 374(1-2). 171-183.
- 24- Nalbantis, I. and Tsakiris, G. (2008). "Assessment of Hydrological Drought Revisited". *Water Resources Management*. 29(1). 21-40.
- 25- Pettit, A. (1979). "A nonparametric approach to the change-point problem. *Journal of Applied Statistics*". 28, 126-135.
- 26- Soleimani-Sardou, f. and Bahramand, A. (2014). "Hydrological drought analysis using SDI index in Halilrud basin of Iran". *International Journal of Environmental Resources Research*. 3(1), 279-288.