اثر متقابل شرایط حدی هیدرولوژیکی-جامعه انسانی-مدیریت بهره برداری از سدهای مخزنی

مهرداد تقیان *[۱]، علی حقیقی[۲]

۱. کارشناس سازمان آب و برق خوزستان، دفتر برنامه‌ریزی مخازن سدها و رودخانه ها.

۲. استاد دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکدهٔ مهندسی و معماری، گروه عمران- محیط زیست.

(Email: mehrdad.taghian@gmail.com) *

چکیده

در دهه‌های اخیر، از یک سو اثر فعالیتها و عملکرد جامعه انسانی بر تشدید خشکسالی/سیلاب و متقابلاً، واکنش و پاسخ انسان نسبت به این وقایع حدی بررسی شده است. اما سیستم دینامیک بر هم کنش متقابل هر دو مولفه پاسخ و اثر هنوز هم دارای پیچیدگی‌های فراوان بوده و ابعاد مختلف آن به طور کامل شناسایی نشده است. اغلب رویکردها و سناریوهای پاسخ به ریسک برای شرایط کوتاه مدت طراحی شده‌اند، بنابراین می‌توانند باعث مخاطرات و پیامدهای ناخواسته جدید در سیستم دینامیک بلند مدت گردند. شواهد و داده‌های تاریخی در این پژوهش نشان می‌دهد که یکی از واکنش‌ها و پاسخ‌های جامعه انسانی (بهره برداران) به رخدادهای حدی هیدرولوژیکی، تغییر قواعد و پارادیم‌های بهره برداری از سدهای مخزنی بوده است. این تغییر سیاست بهره برداری اگر چه با استفاده از فاکتورهای یادگیری حافظه کوتاه مدت و به منظور سازگاری بیشتر طراحی شده است اما در بلند مدت و اولین تغییر فاز از شرایط خشکسالی به سیلاب یا بالعکس، ریسک‌های نوظهور و اثرات مخرب آن در سیستم نمایان شده است. این فرآیند با از داده‌ها و اطلاعات بهره‌برداری سد مخزنی دز در سال های اخیر تشریح شده است که تایید کننده سیستم دینامیک و سایر فرضیات مطرح شده است.

کلیدواژه‌ها:

هیدرولوژی اجتماعی، سد مخزنی، شرایط حدی هیدرولوژیکی، سیستم دینامیک، ریسک

مقدمه

در دهه‌های اخیر، فعالیتها و عملکرد انسانی باعث تغییر رژیم رودخانه‌ها در نقاط مختلف جهان شده است (دستونی و همکاران، ۲۰۱۳). یکی از عوامل مهم و اساسی در این تغییرات، آبیاری و برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی بوده است که خشکسالی-های هیدرولوژیکی را تشدید نموده است (دیگراف و همکاران، ۲۰۱۹). علاوه بر آن، جامعه انسانی با ساخت خاکریز و سیل بند در کنار رودخانه‌ها باعث تغییرات زمانی (فراوانی) و مکانی سیلاب شده است (گرالپویس و همکاران، ۲۰۱۶) و با تغییر کاربری اراضی و از بین بردن پوشش گیاهی، سیلاب‌زایی حاصل از هر واحد سطح حوضه آبریز را مضاعف نموده است. پژوهشگران این نوع تغییرات در سیستم رژیم طبیعی رودخانه‌ها را به عنوان خشکسالی یا سیلاب‌های انسان ساخت مطرح نموده‌اند (آقا کوچک و همکاران، ۲۰۱۵). تاکنون رویکردهای مدیریتی مختلفی به منظور کاهش اثرات مخرب شرایط حدی هیدرولوژیکی طراحی شده است (کریبیچ و همکاران، ۲۰۱۹; استرله و همکاران، ۲۰۱۹). در همین راستا، مازولونی و همکاران (۲۰۲۱) یک مدل مفهومی دینامیک طراحی نمودند تا بر هم کنش بین سناریوهای مختلف مدیریت منابع آب، شرایط حدی هیدرولوژیکی (خشکسالی و سیلاب) و جامعه انسانی را شبیه‌سازی نماید. یافته‌های آن‌ها نشان داد سناریوهای مدیریتی اجرا شده به منظور کاهش ریسک خشکسالی و سیلاب، خود می‌تواند در افق بلند مدت باعث مخاطرات و ریسک‌های نوظهور چندگانه گردد. اقدامات سازه‌ای که معمولاً مسائل کوتاه مدت را مد نظر قرار می‌دهند، اغلب در شرایط آتی باعث عواقب و تبعات غیر عمدی

می‌شوند که برآیند عملکرد مکانیزم فعال بازخوردهای سیستم جفت شده انسان-آب است (گارسیا و همکاران،۲۰۱۹). در این زمینه، پدیده‌های مختلفی به طور تجربی مشاهده است و توسط محققین در نقاط مختلف جهان گزارش شده است. در ارتباط با ریسک سیلاب، سازگاری هنگامی رخ می‌دهد که فاکتورهای یادگیری و تجربیات حاصل از یک رخداد سیل کمک کند تا اثرات مخرب سیلاب‌هایی که با فاصله زمانی اندکی پس از آن اتفاق خواهد افتاد را کاهش دهیم (مارد و همکاران، ۲۰۱۸). اما در ارتباط با خاکریزها و سیل بندهای حاشیه رودخانه، معمولاً با یک تضاد (پارادوکس) مواجه هستیم بدین ترتیب که اقدامات سازه‌ای کاهش ریسک خود در افق زمانی بلند مدت باعث کاهش سطح آگاهی و درک جامعه انسانی از ریسک سیلاب شده و توسعه شهرنشینی در مناطق مستعد سیلاب را به دنبال دارد (یو و همکاران، ۲۰۱۷). بنابراین در ظاهر اگر چه فراوانی سیلاب و خسارت آن کاهش می‌یابد اما با وقوع سیلاب های هولناک، به دلیل تغییر کاربری اراضی و عدم آمادگی جامعه به منظور مواجه با سیلاب، خسارت آن نسبت به گذشته افزایش قابل ملاحظه ای خواهد یافت (میچلیس و همکاران، ۲۰۲۰).

در سیستم دینامیک‌های گوناگون که از اثرات متقابل جامعه انسانی و رخدادهای حدی هیدرولوژیکی منتشر شده است، فرآیند یادگیری یا سازگاری زمانی پدیدار می‌شود که فراوانی بیشتر رخدادها با کاهش آسیب پذیری مرتبط شود (دی بالداسره و همکاران، ۲۰۱۵). این اثرات متقابل، بعضاً می‌توانند منجر به سازگاری ناهنجار گردد. به عنوان مثال، مهاجرت دائمی یا موقت نمونه هایی عمومی از این فرآیند هستند. علاوه بر این مثال عینی، تغییر در سیاست های بهره برداری مخازن که محور بحث این مقاله است یک نمونه از این سازگاری‌های ناهنجار است. در نقطه مقابل سازگاری، فراموشی زمانی حادث می‌شود که فراوانی کمتر رخدادها با افزایش آسیب پذیری مرتبط شود.

این تحقیق سعی دارد به شناسایی اثرات و بر هم کنش‌های متقابل سیستم دینامیک شرایط حدی هیدرولوژیکی- جامعه انسانی-مدیریت بهره برداری مخزن بپردازد. در این فرآیند، پاسخ‌ها و بازخوردهای رفتار انسان ناشی از تغییر رژیم رودخانه‌ها در تغییر سیاست های بهره برداری مخازن قابل مشاهده است که می‌تواند در کنار سایر عوامل و محرک‌های بیرونی مورد بررسی و ارزیابی قرار دهد. در واقع، مخاطرات و رفتارهای نوظهور انسانی برای پاسخ به شرایط حدی در مدیریت بهره برداری سدهای مخزنی نمو پیدا کرده است و این سازگاری ناهنجار خود زمینه‌ساز ریسک های جدید دیگری بوده است. فرضیات و سیستم دینامیک مذکور با استفاده از اطلاعات و داده‌های مشاهداتی بهره برداری سد مخزنی دز طی سال های اخیر ارزیابی شده است.

مواد و روش‌ها

در سال‌های اخیر، پژوهشگران علوم مهندسی و طبیعی جنبه‌های مختلف اثرات انسان (سازه‌ای و غیرسازه‌ای) بر خشکسالی-سیلاب بررسی کرده‌اند و در مقابل، پژوهشگران اجتماعی و اقتصادی به تحلیل واکنش و پاسخ انسان نسبت به رخدادهای حدی هیدرولوژیکی پرداخته‌اند. اما هنوز هم ابعاد و جنبه‌های مختلف سیستم دینامیک دوجانبه پاسخ و اثر به طور کامل شناسایی نشده است. این سیستم دینامیک در شکل (۱) نمایش داده شده است که تفسیر و تحلیل آن به شرح ذیل است:

۱- بخش اول بیانگر اثرات شرایط حدی هیدرولوژیکی بر جامعه انسانی است. بر این اساس، درک، احساس و استنباط انسان از وقایع حدی هیدرولوژیکی (خشکسالی/ سیلاب) شکل‌دهنده جامعه انسانی پایاب رودخانه‌ها در ترم‌های جمعیت، نهادها و تشکل‌های مرتبط با آب و مسائل مربوط به حکمرانی و سیاست‌گذاری آب می باشد.

۲- سیاست‌ها و اقداماتی که بوسیله جامعه اجرا می‌شود (مانند اقدامات سازه‌ای شامل احداث سدهای مخزنی و خاکریزهای سیل بند حاشیه رودخانه و ... یا سیاست‌گذاری های بهره برداری از منابع آب و ذخایر سدهای مخزنی موجود) شکل دهنده وقایع حدی هیدرولوژیکی در ترم‌های فراوانی، شدت و توزیع مکانی است.

۳- این سیستم دینامیک داخلی تحت تاثیر محرک‌های بیرونی مانند اثرات تغییر اقلیم بر شرایط حدی هیدرولوژیکی و اثرات انسانی خارج از سیستم در یک مقیاس عمومی بزرگتر عمل می‌نماید.

شکل ۱- سیستم دینامیک دوجانبه پاسخ و اثر شرایط حدی هیدرولوژیکی- جامعه انسانی

همان طور که در بخش مقدمه اشاره شد، در سیستم دینامیک‌های گوناگون از اثرات متقابل جامعه انسانی و رخدادهای حدی هیدرولوژیکی، فراوانی بیشتر وقایع حدی منجر به فرآیند یادگیری و سازگاری می شود که کاهش آسیب پذیری را به دنبال دارد. البته در برخی موارد سازگاری ناهنجار شکل گرفته و اثرات مخرب واقعه حدی متضاد با شرایط فعلی پس از یک دوره طولانی مدت (به عنوان مثال واقعه سیلاب پس از یک دوره طولانی خشکسالی و بالعکس) را افزایش می دهد. بایستی توجه داشت دوره‌های طولانی فقدان سیلاب یا خشکسالی می‌تواند به دلیل عوامل اقلیمی یا اقدامات سازه‌ای کاهش ریسک مانند احداث مخازن و.. باشد. احداث سدهای مخزنی یکی از راهکارهای اتخاذ شده بشر به منظور تعدیل و تسکین شرایط حدی رودخانه‌ها و سازگاری با طبیعت است اما بازخوردهای این سیاست بهره برداری از رودخانه‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در یک دوره طولانی مدت خشکسالی، معمولاً حافظه خشکسالی بهره برداران باعث می‌شود به منظور سازگاری بیشتر با شرایط، تا حد امکان آب را در مخزن ذخیره نمایند و قواعد و سیاست‌های بهره برداری مربوط به کنترل سیلاب مخازن به دلیل فراوانی کمتر سیل به فراموشی سپرده می شود. به همین ترتیب در دوره های ترسالی، حافظه ترسالی بهره برداران باعث می‌شود به منظور سازگاری بیشتر، حجم قابل ملاحظه ای از ظرفیت مخزن را در ماههای با احتمال سیل، خالی نگه دارند تا خسارت سیل کاهش یابد. علاوه بر آن، قواعد مربوط به جیره بندی تامین نیازها و مصارف به دلیل فراوانی کم خشکسالی به فراموشی سپرده می شود. بنابراین اولین خشکسالی اتفاق افتاده پس از یک دوره ترسالی و بالعکس اولین ترسالی و سیل رخ داده پس از یک دوره خشکسالی، همواره با خسارت بسشتر همراه است. در بخش نتایج، این فرضیات با مثال‌هایی از حوضه آبریز دز تایید می گردد. اما پیش از آن، قواعد و رویکردهای متداول بهره برداری مخازن در دوره های خشکسالی و تر سالی (سیل) به شرح ذیل ارائه شده است.

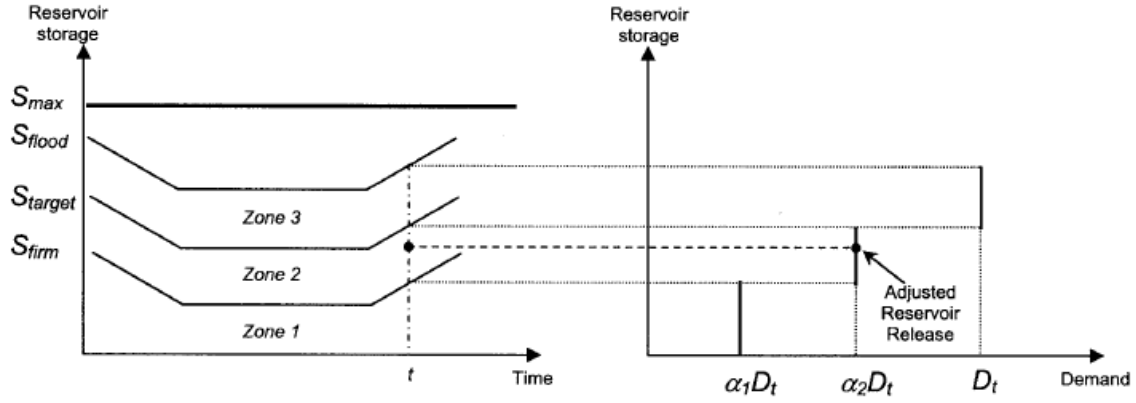
الف-سیاست جیره بندی تامین نیاز

با توجه به روند فزاینده مصارف، عموماً مخازن طی سال های خشک در رها سازی دبی مطمئن خود دچار شکست می شوند. در چنین وضعیتی، مدیران مسئول سیستم آبیاری و آبرسانی، کمبودهای متناوب اما کوچک را بر کمبودهای منفرد شدید ترجیح می دهند. به عنوان مثال اعمال کمبودهای ناچیز در ماههای کشاورزی ممکن است تاثیر چندانی بر عملکرد محصول نگذارد اما در صورت وقوع کمبودهای شدید در یک ماه، به احتمال بسیار زیاد کل محصول از بین خواهد رفت. بنا بر دلایل مذکور، اعمال محدودیتهای آبیاری و جیره بندی جهت کاهش موقت سطح نیاز و حفظ ذخیره برای دوره های آتی، یک روش معمول است. بدین ترتیب در طول دوره های مشرف به خشکی حتی اگر نیاز را بتوان از ذخیره فعلی و ورودی جاری به مخزن تامین نمود، پیشنهاد کاهش نیاز مطرح است. چنین کاهشی مانع از کمبودهای بزرگتر در دوره های بعدی می‌شود. علاوه بر جنبه‌های اجتماعی، از لحاظ اقتصادی نیز پذیرفتن یک سری کمبود کوچک متناوب در بازه زمانی جاری به منظور کاهش

مقدار یک کمبود شدید در آینده، مثبت ارزیابی گردیده است. برای شروع جیره‌بندی خروجی از مخزن، یک حجم آستانه معرفی می شود که این حجم برای کلیه ماه های نیاز تعریف می گردد. زمانی که حاصل جمع ذخیره مخزن در ابتدای هر ماه و ورودی به مخزن در آن ماه کمتر از این حجم آستانه باشد، سیاست جیره بندی آغاز می‌شود و هر چه تراز سطح آب در مخزن پایین‌تر رود این جیره بندی شدیدتر می‌شود. مطابق شکل (۲)، هنگامی که تراز مخزن در منطقه سه قرار بگیرد کل نیازها (D) تامین می گردد. در منطقه دو کسری از نیاز ($\alpha_2 D$) و در منطقه یک ضریب کمتری از نیازها تامین می شود ($\alpha_2 D$) . در واقع هر چه تراز سطح آب ماهانه مخزن پایین تر رود، ضرایب تامین نیاز کوچکتر می شود ($\alpha_1 > \alpha_2$).

ب- کنترل تراز سد مخزنی با منحنی فرمان کنترل سیلاب

مطابق شکل (۲)، خط مربوط به حد بالای منطقه سه (Zone3)، منحنی فرمان کنترل سیلاب نامیده می شود. بدین مفهوم که تراز سطح آب مخزن در بازه زمانی مورد نظر نباید بالاتر از خط S_{flood} (منحنی فرمان) قرار گیرد و در حقیقت منطقه بین S_{max} و S_{flood} بایستی به عنوان حجم کنترل سیلاب مد نظر قرار گیرد تا امکان تعدیل و تسکین سیلاب ورودی به مخزن میسر گردد و خسارت حاصل از دبی خروجی از مخزن کاهش یابد.



شکل۲- شماتیک قواعد و سیاست بهره برداری از مخازن در شرایط حدی و عادی

نتایج

در حال حاضر مجموعه داده‌های دقیق کمی برای ارزیابی و تحلیل سیستم دینامیکی تلفیقی جامعه انسانی- مسائل هیدرولوژیکی وجود ندارد اما استنتاج و ارزیابی داده‌های موجود و ترکیب آن با برخی یافته‌های شهودی می‌تواند مبنای بررسی قرار گیرد. در این راستا، مدیریت بهره برداری سد مخزنی دز در استان خوزستان طی سال های اخیر مورد بررسی قرار گرفته است. مشخصات کلی سد مخزنی دز به شرح ذیل است.

جدول ۱- مشخصات کلی سدهای مخزنی مورد بررسی

سد مخزنی	ظرفیت مخزن در تراز نرمال MCM	آورد سالانه بلند مدت MCM	سال شروع بهره برداری Year	تراز حداکثر بهره برداری M	تراز سرریز M	حداقل تراز بهره برداری M
دز	۲۶۵۰	۷۰۰۰	۱۳۴۱	۳۵۲	۳۳۶	۳۰۵

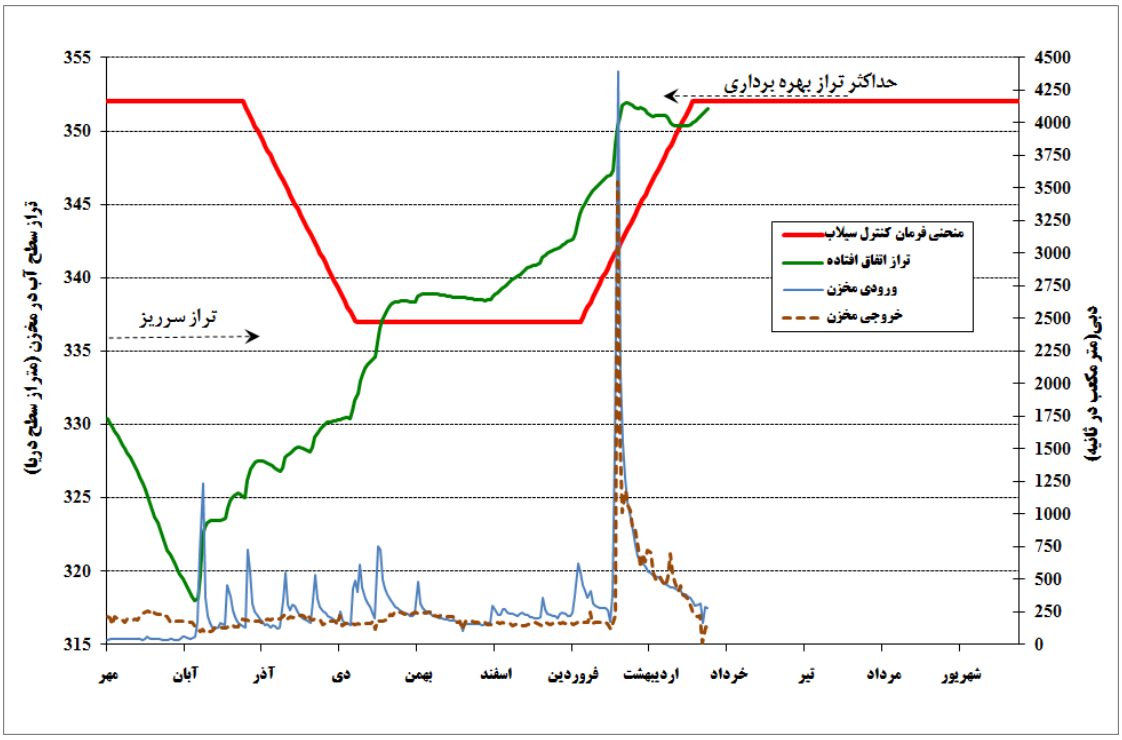
با طبقه‌بندی آورد سالانه سد دز بر اساس شاخص SDI (Standard Discharge Index) مطابق جدول (۲)، شرایط حدی هیدرولوژیکی و سالهای نرمال، مرطوب و خشک تفکیک شده است. روند محاسبه شاخص فوق دقیقاً مشابه شاخص SPI است، فقط به جای پارامتر بارش از دبی استفاده می‌شود.

جدول ۲- آورد سد دز و طبقه‌بندی آن بر اساس پارامترهای آماری دوره بلند مدت بهره برداری

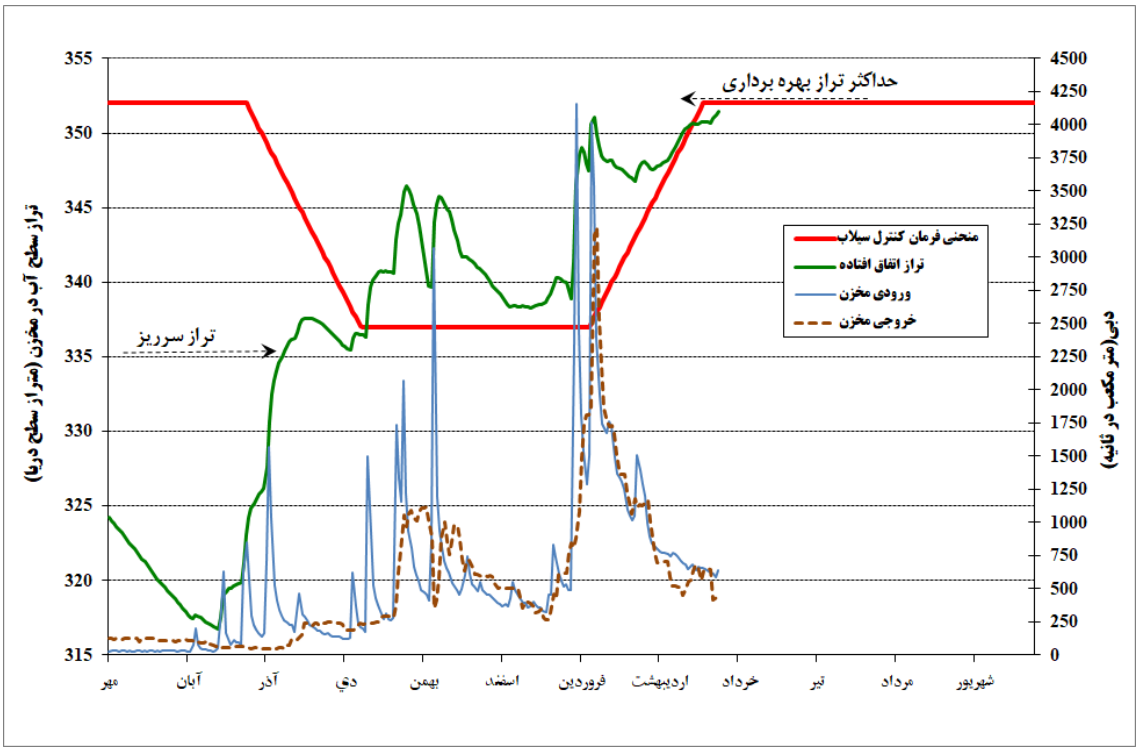
سال آبی	آورد سالانه میلیون متر مکعب	شاخص SDI	وضعیت
89-90	4446	-0.99	خشکسالی ملایم
90-91	3216	-1.57	خشکسالی شدید
91-92	4670	-0.89	خشکسالی ملایم
92-93	5384	-0.61	خشکسالی ملایم
93-94	5038	-0.75	خشکسالی ملایم
94-95	7450	0.07	نرمال
95-96	5286	-0.65	خشکسالی ملایم
96-97	3345	-1.50	خشکسالی شدید
97-98	14821	1.80	خیلی مرطوب
98-99	7224	0.00	نرمال
99-00	3613	-1.37	خشکسالی متوسط
00-01	3840	-1.26	خشکسالی متوسط

در شکل (۳)، عملکرد مدیریت بهره‌برداری سد دز از ابتدای سال آبی تا اردیبهشت ماه (انتهای فصل آبگیری مخزن) در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ نمایش داده شده است. همان گونه که ملاحظه می‌شود پس از یک دوره خشکسالی، سیلاب فروردین ۹۵ در یک سال آبی نرمال باعث خسارت شدید (دبی خروجی ۳۵۰۰ متر مکعب در ثانیه) در پایین دست گردید. بر این اساس، تراز مخزن در دی‌ماه از تراز منحنی فرمان کنترل سیلاب تخطی نموده است اما مدیریت بهره برداری مخزن با توجه حافظه خشکسالی سال‌های قبل، ریسک تخطی تراز مخزن از منحنی فرمان کنترل سیلاب و حفظ روند صعودی تراز در ماههای بهمن و اسفند را به منظور اطمینان از پر شدن مخزن پذیرفته است. در حقیقت برای پاسخ به ریسک عدم پر شدن مخزن وزن بیشتری در مقایسه با پاسخ به ریسک خسارت سیلاب قائل شده است که این واکنش بهره بردار، از اثرات سال‌های متوالی خشکسالی در حافظه تاریخی بهره بردار بوده است. اما مطابق شکل (۴)، عملکرد مدیریت بهره برداری سد دز در تر سالی حدی سال آبی ۹۸-۹۷ که آورد سالانه آن حدود دو برابر و آورد فروردین آن حدود ۲,۵ برابر سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ بوده است، مطلوب تر بوده است. این واکنش و پاسخ مطلوب‌تر بهره بردار از اثرات حافظه سیلابی به دلیل اختلاف زمانی اندک با سیلاب فروردین ۹۵ بوده است. برخلاف عملکرد قبلی، بهره بردار از دی ماه اقدام به افزایش خروجی‌ها و توقف روند صعودی تراز مخزن نموده است. بدین ترتیب تا انتهای اسفند، تراز مخزن به تراز منحنی فرمان کنترل سیلاب نزدیک شده است. بنابراین، اولین سیلاب فروردین ۱۳۹۸ به خوبی و در چارچوب خروجی متناسب با ظرفیت ایمن پایین دست مدیریت گردیده است. اما با دومین

سیلاب فروردین ماه، رکورد ۶۰ ساله حجم آورد فروردین شکسته شد و به تبع آن خروجی سد باعث خسارت در پایین دست گردید که کاملاً طبیعی محسوب می شود.

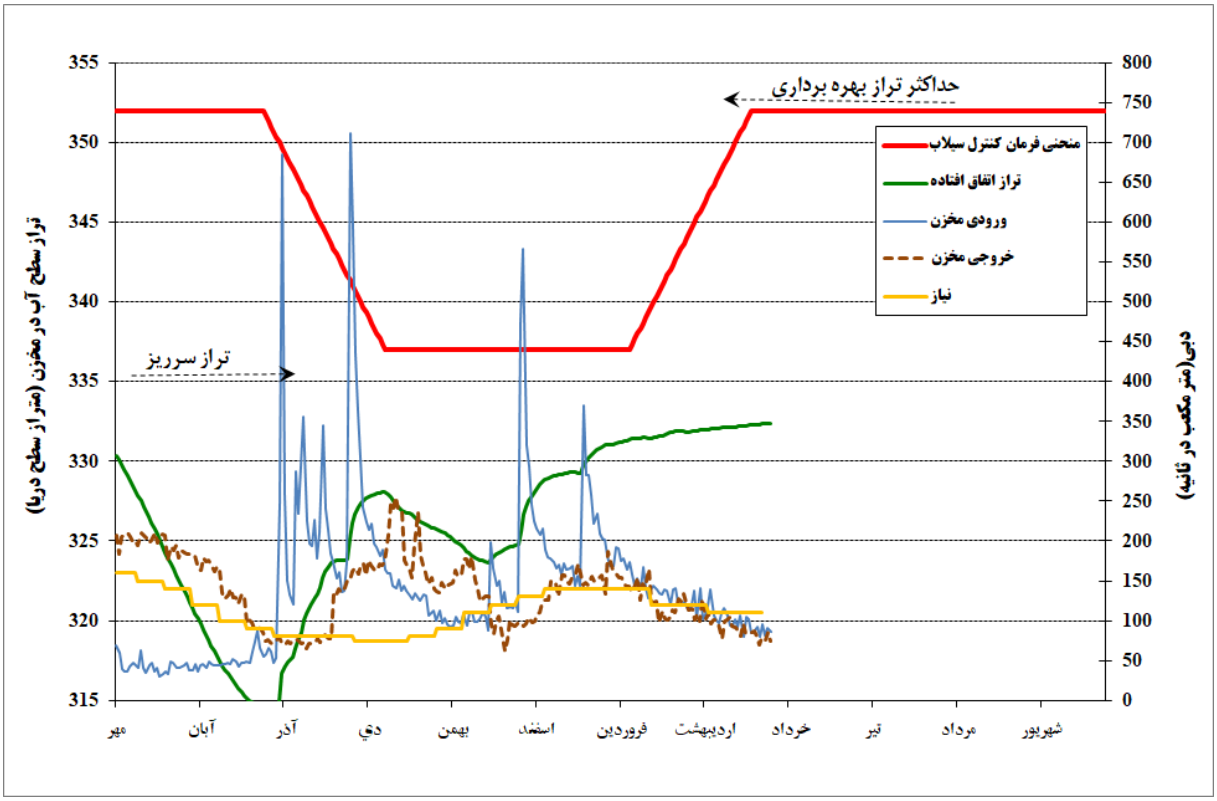


شکل۳- عملکرد نامطلوب بهره برداری از سد دز سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ و سیلاب فرودین (بازخورد حافظه خشکسالی بهره بردار)

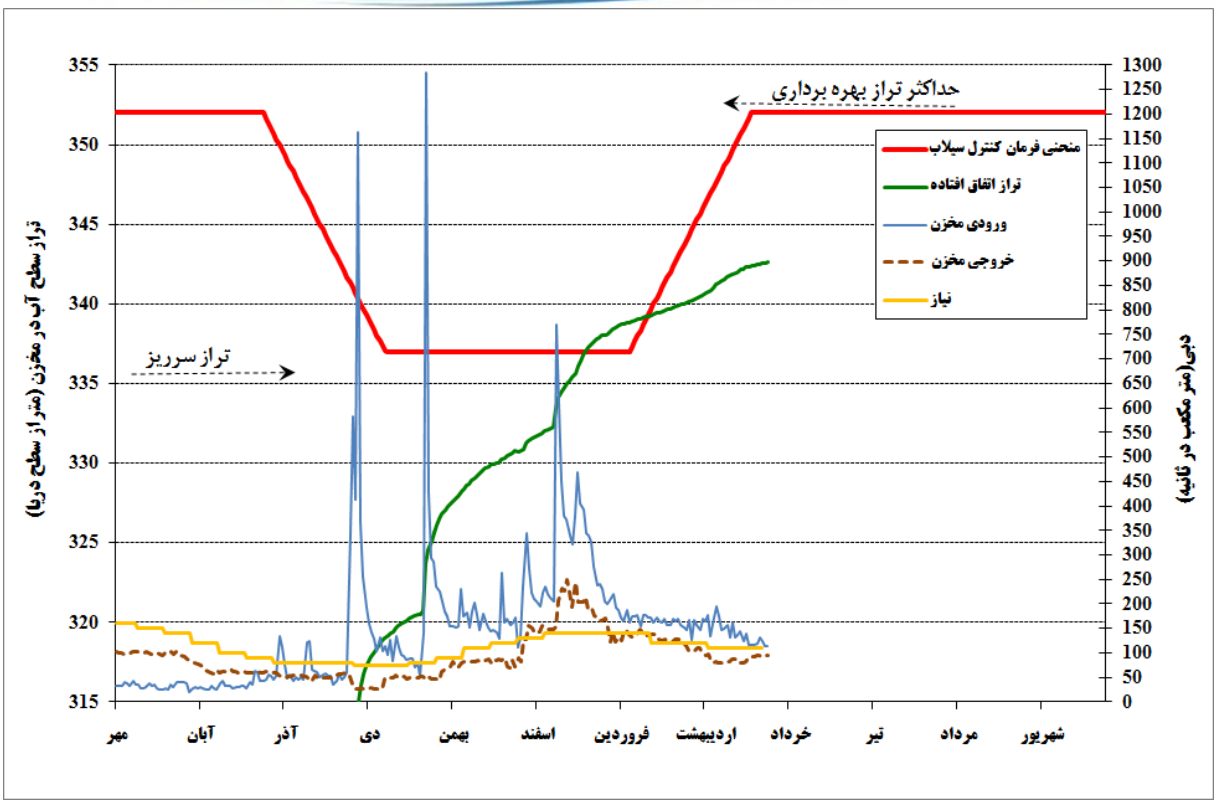


شکل۴- بهبود عملکرد بهره برداری از سد دز در تر سالی حدی ۹۸-۱۳۹۷ (بازخورد یادگیری حافظه بهره بردار)

مطابق شکل (۵)، در خشکسالی سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹، حافظه بهره بردار که تحت تاثیر ترسالی شدید سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ قرار داشت، پس از وقوع چند سیلاب معمول در ابتدای سال آبی، در اقدامی بسیار زود هنگام از آذر ماه در حالی که تراز مخزن فاصله بسیار زیادی از تراز کنترل سیلاب داشت، اقدام به افزایش خروجی‌ها بیشتر از نیاز آبی جهت توقف زودهنگام روند صعودی تراز و سازگاری با ریسک سیلاب فروردین نموده است. چرا که طبق حافظه بهره بردار حتی با رعایت منحنی فرمان کنترل سیلاب، رخدادهای حدی فروردین ۹۸ باعث خسارت سنگینی شده بود. از تبعات این سیاست بهره برداری، هدر رفت شدید منابع آب و ذخیره اندک مخزن در پایان اردیبهشت بوده است. در شکل (۶)، با ادامه خشکسالی در سال آبی بعد، بهره بردار ضمن سازگاری بیشتر و هماهنگ نمودن قواعد بهره برداری با شرایط حدی، عملکرد بسیار مطلوب تری به نمایش گذاشته است. همان گونه که در شکل (۶) مشاهده می شود بهره بردار از ابتدای سال آبی تا اسفند ماه، اقدام به رهاسازی کمتر از نیاز و جیره بندی تامین مصارف نموده است. با وقوع سیلاب های اسفند، به منظور حفظ تراز در محدوده منحنی فرمان کنترل سیلاب، اقدام به رهاسازی بیشتر از نیاز نموده است. اگر چه سیلابی هم در فروردین رخ نداد اما در نهایت مخزن در تراز بسیار مطلوب تری در انتهای فصل آبگیری قرار گرفت. بر این اساس پیش بینی می شود با دو واقعه متوالی عدم رخداد سیلاب در فروردین ماه طی دو سال گذشته و پر نشدن مخزن، بهره بردار در سال آبی بعد برای پاسخ به ریسک عدم پر شدن مخزن در مقابل ریسک خسارت سیلاب فروردین، وزن بیشتری برای پر کردن مخزن در حافظه تحلیلی خود قرار داده و تخطی از منحنی فرمان کنترل سیلاب را در دستور کار خود قرار دهد.



شکل۵- عملکرد نامطلوب بهره برداری از سد دز در خشکسالی ۰۰-۱۳۹۹ (بازخورد حافظه سیلاب فروردین ۱۳۹۸بهره بردار)



شکل۶- بهبود عملکرد بهره برداری از سد دز در خشکسالی ۰۱-۱۴۰۰ (بازخورد حافظه خشکسالی بهره بردار از سال قبل)

بحث و نتیجه‌گیری

این مقاله به بررسی سیستم دینامیک تلفیقی رخدادهای حدی هیدرولوژیکی- جامعه انسانی- مدیریت بهره برداری سدهای مخزنی می‌پردازد. در این راستا، اثر دوره های خشکسالی و ترسالی بر حافظه بهره بردار، تغییر قواعد بهره‌برداری، تصمیم گیری و مدیریت سدهای مخزنی بررسی گردیده است. بدین مدیریت بهره برداری سد دز در استان خوزستان به انضمام طبقه بندی آورد در سال های اخیر مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که قواعد و اصول بهره برداری سد دز کاملاً متاثر از دوره خشکسالی و سیلاب است. به عبارت دیگر، حافظه خشکسالی یا ترسالی تصمیم‌سازان و مدیران در اتخاذ رویکردها و استراتژی‌های مدیریت بهره برداری مخزن بسیار موثر است. بر این اساس، در دوره های خشکسالی تمرکز بر افزایش تراز سطح آب مخزن به منظور پر شدن مخزن است و منحنی فرمان کنترل سیلاب نادیده گرفته شده است. بالعکس در سال‌های ترسالی، توجه اصلی به کاهش تراز مخزن و افزایش حجم کنترل سیلاب بوده است. بنابراین در اولین ترسالی بعد از یک دوره خشکسالی و یا برعکس در اولین خشکسالی پس از یک دوره ترسالی، رویکردهای بهره برداری اتخاذ شده که در جهت سازگاری با شرایط قبلی بوده است، منجر به خسارت بیشتر شده است.

تقدیر و تشکر

بدین وسیله از سازمان آب و برق خوزستان که داده های لازم برای این پژوهش را فراهم نمودند، تشکر و قدردانی می گردد.

منابع

۱-Aghakouchak, A. Feldman, D. Hoerling, M. Huxman, T. and Lund, J. 2015. Water and climate: recognize anthropogenic drought. Nature. 524(7566):409-411.
۲-Destouni, G. Jaramillo, F. and Prieto, C. ۲۰۱۳. Hydro-climatic shifts driven by human water use for food and energy production. Nature Climatology Change. 3(3): 213–217.
3-De Graaf, I. E. M. Gleeson, T. van Beek, L. P. H. Sutanudjaja, E. H. and Bierkens, M. F. P. 2019. Environmental flow limits to global groundwater pumping. Nature. 574(7776):90-94.
4-Garcia, M. Koebele, E. Deslatte, A. Ernst, K. Manago, K. F. and Treuer, G. 2019. Towards urban water sustainability: Analyzing management transitions in Miami, Las Vegas, and Los Angeles. Global Environmental Change. 58:101967.
۵-Gralepois, M. Larrue, C. Wiering, M. Crabbé, A. Tapsell, S. Mees, H. Ek, K. and Szwed, M. ۲۰۱۶. Is flood defense changing in nature? Shifts in the flood defense strategy in six European countries. Ecology and Society. 21(4):37.
6-Kreibich, H. Blauhut, V. Aerts, J.C.J.H. Bouwer, L.M. Van Lanen, H.A.J. Mejia, A. Mens, M. and Van Loon, A.F. 2019. How to improve attribution of changes in drought and flood impacts. Hydrological Sciences Journal. 64(1):1-18.
7-Mård, J. Baldassarre, G. D. and Mazzoleni, M. 2018. Nighttime light data reveal how flood protection shapes human proximity to rivers. Science Advances. 4(8):5779.
8-Mazzoleni, M. Odongo, V.O. Mondino, E. and Di Baldassarre, G. 2021. Water management, hydrological extremes, and society: modeling interactions and phenomena. Ecology and Society. 26(4):4.
9-Michaelis, T. Brandimarte, L. and Mazzoleni, M. 2020. Capturing flood-risk dynamics with a coupled agent-based and hydraulic modelling framework. Hydrological Sciences Journal. 9:1458-1473.
۱۰-Sterle, K. Hatchett, B. J. Singletary, L. and Pohll, G. ۲۰۱۹. Hydro-climate variability in snow-fed river systems: local water managers' perspectives on adapting to the new normal. Bulletin of the American Meteorological Society. 100(6):1031-1048.
۱۱-Tu, M.Y. Hsu, N.S. Tsai, F.T.C. and Yeh, W.W.G. ۲۰۰۸. Optimization of hedging rules for reservoir operations. Water Resource Planning and Management. 134(1):3–13.
12-Yu, D. Chang, H. Davis, T. T. Hillis, V. Marston, L. T. Oh, W. S. Sivapalan, M. and Waring, T. M. ۲۰۲۰. Socio-hydrology: an interplay of design and self-organization in a multilevel world. Ecology and Society. 25(4):22.