نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۵ شماره ۳ صفحه‌های ۷ ۱۱ تا ۱۳۲/ سال ۱۳۹۴

برنامه‌ریزی تخصیص منابع آب تحت سناریوهای مدیریتی در حوضه گرگان‌رود

زهرا دهقان[۱]، معصومه دلبری[۲*]، ام‌البنی محمدرضاپور[۳]

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۰۸ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۷/۱۶

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل
[۲] دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب وخاک، دانشگاه زابل
[۳] استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب وخاک، دانشگاه زابل
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mas_delbari@yahoo.com

چکیده

با توجه به رشد سریع جمعیت و محدود بودن منابع آب، مدیریت جامع منابع آب از اهمیت فراوانی برخوردار است. برای مدیریت و برنامه‌ریزی بهینه منابع آب در سطح یک حوضه مدل‌های مختلفی وجود دارد. در سال‌های اخیر مدل WEAP به‌دلیل جامعیت در لحاظ کردن توأم فرآیندهای فیزیکی- هیدرولوژیکی و سیستم مدیریت یکپارچه و اولویت‌بندی تخصیص منابع آب، مورد توجه بسیاری از محققان قرارگرفته است. هدف اصلی از انجام این تحقیق بهره-گیری از مدل WEAP برای تعیین مقدار آب تخصیص‌یافته برای بخش صنعت از سدهای گلستان و وشمگیر در حوضه گرگان‌رود (استان گلستان) بود. در این راستا ابتدا حوضه آبریز گرگان‌رود از نظر آورد ماهانه شبیه‌سازی شد و مدل برای شرایط پایه و سناریوهای مختلف اجرا گردید. برای این منظور از روش سال آبی مدل WEAP استفاده شد. در این مدل، حجم رسوب‌گذاری در مخازن سدها به‌صورت اضافه نمودن حجم مرده در پایان هر ماه به‌صورت تجمعی، در نظر گرفته شده است. پس از بررسی‌های انجام شده و مدل نمودن حوضه گرگان‌رود، درصد حجم آب قابل تخصیص برای نیازهای کشاورزی، صنعت، آبزی‌پروری و زیست‌محیطی با توجه به اهداف موردنظر طرح به‌دست آمد. نتایج نشان داد در برنامه‌ریزی جدید تخصیص منابع آب حوضه گرگان‌رود می‌توان با پذیرفتن ۵ ٪ کاهش اعتمادپذیری سیستم، نیاز صنعت حاشیه سد وشمگیر را به‌میزان ۹/۵ میلیون متر مکعب تأمین کرد. در نظر نگرفتن رسوب‌گذاری مخزن در مدل-سازی، میزان اعتمادپذیری سیستم را به‌میزان قابل‌توجهی کاهش داد. لحاظ نمودن کاهش رسوب‌گذاری در مخزن، (هر پنج سال به‌میزان ۱ میلیون متر مکعب) ازیک‌طرف و افزایش راندمان آبیاری از طرف دیگر می‌تواند اعتمادپذیری سیستم را در برنامه‌ریزی حفظ کند.

واژه‌های کلیدی: اعتمادپذیری، برنامه‌ریزی منابع آب، تخصیص آب، حوضه گرگان‌رود، مدل WEAP، مصرف صنعت

Archive of SID
www.SID.ir

Planning Water Resources Allocation under Various Managerial Scenarios in Gorganroud Basin

Z Dehghan[1], M Delbari[2*], O Mohammadrezapour[3]

Received: 29 December 2013 Accepted: 8 October 2014
[1-]Graduate M.Sc. of Water Resources Engin., Dept., of Water Engin., University of Zabol, Iran
[2-]Assoc. Prof. in Dept. of Water Engin., Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Iran
[3-]Assist. Prof. in Dept. of Water Engin., Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Iran
[*] Corresponding Author, Email: mas_delbari@yahoo.com

Abstract

Integrated water resources management is very important due to rapid population growth and limitation of water resources. There are different models for optimum water resources planning and management in a watershed area. In recent years the WEAP model has been used by many researchers due to its ability to consider the coupled physical-hydrological processes and the integrated water resources management systems as well as to prioritize water allocation. The main objective of this study was to use WEAP model for determining the amount of water allocated to industry from the Voshmgir and Golestan dams in the Gorganroud Basin (Golestan province). Thus, at first, the Gorganroud basin monthly flow was simulated and then the model was run for existing conditions and different scenarios. For this purpose, the "water year method" option in WEAP was used. In this model, sedimentation volume in reservoirs was incorporated by a cumulative manner as a dead storage at the end of each month. After modeling the Gorganroud basin with WEAP model, the allocated water volume percentages for agricultural, industrial, aquatic and environmental demands, considering the aims of project were obtained. The results showed that with the new allocation planning of the Gorganroud water resources, the water demand of the industry around the Voshmgir dam would be supplied up to 9.5 million cubic meters, accepting a 5% reduction in the system reliability. By ignoring reservoir sedimentation in modeling process, the system reliability reduced significantly. Moreover, considering 1 million cubic meters reduction in reservoir volume due to sedimentation every 5 years and increase of irrigation efficiencies, can preserve the system reliability in planning.

Keywords: Gorganroud basin, Industry demand, Reliability, Water allocation, Water resources planning, WEAP model

مقدمه

مدیریت صحیح منابع آب با توجه به ماهیت پیچیده مسائل آب، رشد سریع جمعیت، نیاز به آب برای مصارف مختلف و منابع آبی محدود، نیازمند روش‌های جدیدی است که دیدگاه‌های فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی و منطقی را در یک قالب یک-پارچه گردآوری نماید. این همان مفهوم مدیریت جامع منابع آب (IWRM[1]) است که یکی از روش‌های اصولی برای دستیابی به منابع آبی پایدار در سطح ملّی و بین-

[1] Integrated Water Resources Management

Archive of SID

www.SID.ir

المللی است (علیزاده ۱۳۸۵). از اوایل دهه ۱۹۸۰ میلادی و به‌موازات پیشرفت تکنولوژی در علوم گوناگون، مدل-سازی در تخصیص منابع آب، مورد توجه بیش‌تری قرارگرفته است. تخصیص آب عبارت است از ترکیب فعالیت‌هایی که مصرف‌کنندگان را قادر می‌سازد تا آب را برای اهداف سودمند، مطابق با قوانین و اولویت‌های پذیرفته‌شده در منطقه به‌کار گیرند (بی‌نام ۲۰۰۰). از جمله مدل‌های شبیه‌سازی مختلفی که در زمینه تخصیص منابع آبی ارائه شده است می‌توان به بسته‌های نرم‌افزاری WEAP[1]، RIBASIM[2]، MIKEBASIN، WBALMO و MODSIM [3] اشاره کرد که مثال‌هایی از کاربرد آن‌ها را می‌توان در تحقیقات هاگان (۲۰۰۷)، لیمهوس و همکاران (۲۰۰۹)، چن و همکاران (۲۰۰۵) و شوریان و موسوی (۱۳۸۵) مشاهده نمود. از بین مدل‌های موجود، مدل WEAP به‌دلیل توانایی آن در لحاظ توأم فرآیندهای مهم تأثیرگذار در سیستم‌های طبیعی و انسانی مدیریت منابع آب در سطح حوضه رودخانه، فراگیری استفاده از آن برای حل مسائل مشابه در نقاط مختلف جهان و دسترسی آسان، در این تحقیق انتخاب گردید. مدل WEAP توسط مرکز محیط‌زیست استکهلم[4] توسعه داده‌شده است. WEAP قابلیت استفاده در تخصیص آب شهری و روستایی با ابعاد مختلف را دارد. مدل WEAP بر اساس معادلات بیلان آبی استوار است و با در نظر گرفتن اولویت‌های تخصیص، قابلیت شبیه‌سازی – بهینه‌سازی حقابه‌ها را دارد. لارسن و همکاران (۲۰۰۰) طی تحقیقی، برای رفع مشکل کاهش سطح آب در حوضه رودخانه آپراسینگ در کشور آمریکا از مدل Modflow برای مدل کردن آب زیرزمینی استفاده کردند و درنهایت اثرات تخصیص آب را به‌کمک مدل WEAP ارزیابی نمودند. کای و همکاران (۲۰۰۳) یک مدل بهینه‌سازی کلی‌نگر را بین روابط هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی در حوضه آبریز ارائه نمودند. این مدل روابط بین اجزا را به‌طور کامل منعکس می‌کند. هم‌چنین این مدل می‌تواند برای به‌دست آوردن نتایج اقتصادی و زیست‌محیطی سیاست‌های مختلفی را به‌کار گیرد. آلفارا (۲۰۰۴) با بررسی سیستم حوضه در یک قالب جامع‌نگر، از نرم‌افزار WEAP برای یافتن علل و نوع مشکلات آتی در حوضه دریاچه نیواشا در کشور کنیا استفاده کرد. نتایج حاکی از آن بود که اصلی‌ترین مشکل، مربوط به بخش کشاورزی است به‌طوری‌که در بعضی مناطق بیش از نیاز آبیاری تخصیص آب انجام می‌شود، این در حالی است که در مناطق دیگر کل نیاز تأمین نمی‌گردد. رینگلر (۲۰۰۴) به‌منظور بهبود تخصیص آب درون حوضه آبریز دانگ در ویتنام، روند تخصیص آب را از نقطه‌نظر بازدهی اقتصادی و از دیدگاه جامع‌نگر توسط مدل WEAP موردبررسی قرار داد. چارچوب این مدل بر پایه نوع کاربری آب (کشاورزی، صنعت، برق‌آبی، مصارف خانگی و زیست‌محیطی)، موقعیت مناطقی که در آنجا آب قابل‌استفاده وجود دارد و قوانین اولویت‌بندی آب در حوضه است. بر اساس این چارچوب سیاست‌هایی که می‌توانند روی اولویت‌بندی و استفاده از آب تأثیر-گذار باشند شامل حوضه موردنظر و سیاست‌های کلان اقتصادی هستند که مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. یاتس و همکاران (۲۰۰۵)، مطالعه‌ای را با استفاده از مدل WEAP به‌منظور بررسی اثرات افزودن اهداف زیست‌محیطی انجام دادند. آسف و ساده (۲۰۰۸) طی تحقیقی نمایه‌های مدیریت کیفیت آب در بالادست حوضه آبریز لیتانی در لبنان را با استفاده از مدل WEAP و GIS ارزیابی نمودند. جنیفر و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از مدل WEAP به تخصیص آب به‌عنوان یک ابزار برنامه‌ریزی برای کمینه کردن درگیری‌های استفاده از آب در کنیا پرداخت. بنگاش و همکاران (۲۰۱۲) مدل‌سازی دو فرآیند هیدرولوژیکی آب‌های سطحی و زیرسطحی برای حوضه رودخانه فرانکلی واقع در حوضه مدیترانه با استفاده از یک مدل استراتژیک را انجام دادند. تخصیص منابع آب به بخش های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت و همچنین برای درک بهتر برنامه‌ریزی تخصیص از مدل ترکیبی GIS و MIKEBASIN استفاده شد. در این حوضه به‌علت در دسترس نبودن داده‌های رواناب از مدل بارش- رواناب

1 Water Evaluation And Planning System
2 RIver Basin SIMulation
3 MODel SIMulator
4 Stockholm Environmental Institute (SEI)

Archive of SID

www.SID.ir

NAM که در مدل MIKEBASIN قرار دارد برای تحلیل دو سناریو متفاوت ترسالی و خشکسالی رواناب استفاده شد که در ادامه به این نتیجه رسیدند که برای جبران کمبود آب می‌بایست آب‌های تخصیص نیافته و مازاد دوره ترسالی برای دوره خشکسالی ذخیره شوند. جلالی و همکاران (۱۳۸۷) با اشاره به نقطه‌ضعف WEAP در زمینه مطالعه سیستم‌های برق‌آبی، یک روش اصلاحی برای رفع آن را ارائه نمودند. به‌منظور انجام مطالعات برق‌آبی، ورود اطلاعات، اجرا و استخراج نتایج از WEAP، نرم‌افزارهای Excel و WEAP با یکدیگر ارتباط داده‌شده‌اند. منطقه موردمطالعه در این تحقیق سدهای برق‌آبی رودخانه کارون بوده که شامل پنج سد گتوند، گدار لندر، کارون ۱، کارون۳ و کارون ۴ است. برای صحت‌سنجی مدل، نتایج با مدل تهیه‌شده در محیط نرم‌افزار VENSIM مقایسه شده است که نتایج نشان داد مدل تهیه‌شده از دقت مناسبی برخوردار است. حافظ پرست مودت و همکاران (۱۳۸۷) به‌منظور مقابله با بحران آب و تأمین نیازهای آبی در دشت تاکستان با در نظر گرفتن نیازهای کشاورزی، شرب و صنعت با روش شبیه‌سازی بر اساس بهینه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار LINGO و WEAP در دو وضعیت فعلی و نیز وضعیت اجرای طرح با رعایت متوسط درصد کمبود سالانه ۶ درصد برای سناریوهای مختلف، طرح بهره‌برداری قابل قبولی از منابع آب را ارائه دادند. خلقی و همکاران (۱۳۸۵) تحلیل منابع آب دشت گرمسار را توسط مدل WEAP برای اراضی داخل و خارج شبکه آبیاری و زهکشی به‌کار بردند. هدف از تحقیق آنان در گام اول نگرش سیستماتیک به منابع آب تهران بزرگ و سپس ارائه برنامه مناسب بهره‌برداری از منابع آب منطقه بود. شوریان و موسوی (۱۳۸۵) از تکنیک بهینه-سازی هوش جمعی[1] به‌منظور برنامه‌ریزی تخصیص منابع آب با هدف انتقال آب در سطح حوضه آبریز سیروان استفاده نمودند. هدف در این مدل کمینه نمودن هزینه خالص کل و نیز بیشینه نمودن سود خالص از تخصیص آب به محل‌های مصرف است. یزدان پناه و همکاران (۱۳۸۶) جهت برنامه‌ریزی و مدیریت عرضه و تقاضا در حوضه آبریز ازغند از مدل WEAP استفاده کردند. منبع اصلی آب در این حوضه آب زیرزمینی است. نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق حاکی از آن است که با تغییر الگوی کشت و یا کاهش سطح زیر کشت اراضی کشاورزی، می‌توان به شرایط تعادل آب زیرزمینی دست‌یافت. هم‌چنین با استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری تحت‌فشار در صورت کاهش سطح زیر کشت اراضی کشاورزی، تا حدودی می‌توان ذخیره آب زیرزمینی را افزایش داد، ولی درصورتی‌که استفاده از سیستم‌های تحت‌فشار با افزایش سطح زیر کشت همراه باشد، افت آب زیرزمینی تشدید خواهد شد. هم‌چنین تأثیر افزایش نرخ رشد جمعیت در سطح حوضه آبریز بر وضعیت منبع آب زیرزمینی موردبررسی قرار گرفت و این نتیجه به‌دست آمد که نرخ رشد جمعیت تأثیر فراوانی در وضعیت میزان تقاضا و تغییرات افت سطح آب زیرزمینی در سطح حوضه آبریز ندارد. سعیدی‌نیا و همکاران (۱۳۸۷) با انجام مدل‌سازی ماهانه منابع آب با استفاده از مدل WEAP اثرات طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای کارون را موردبررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که خروجی رودخانه‌های بهشت‌آباد و کوهرنگ در افق آینده با فرض این‌که طرح‌های توسعه منابع آب تعریف‌شده به مرحله بهره‌برداری برسند به‌طور متوسط نسبت به شرایط عدم توسعه حوضه بالادست، ۲۷ درصد کاهش خواهد یافت. هم‌چنین با در نظر گرفتن کمترین نیاز زیست‌محیطی رودخانه پایین-دست، آب مازاد حوضه برای انتقال به فلات مرکزی با درجه اعتماد مناسب تأمین آب شرب و صنعت، ۲۲۰ میلیون متر مکعب در سال است. نتایج مدل‌سازی نشان داد که حجم مفید موردنیاز برای ذخیره آب و تنظیم آن برابر ۶۰۰ میلیون متر مکعب به‌دست می‌آید که با رقم پیشنهادی مشاور طرح که در حدود ۱۸۰۰ میلیون متر مکعب است، اختلاف فاحش دارد. فرهنگی و بزرگ حداد (۱۳۸۹) طی تحقیقی عملکرد مدل‌های WEAP، MODSIM و مدل بهینه‌سازی غیرخطی LINGO را برای یک سیستم تک‌مخزنه و چندمخزنه در یک دوره خشک مورد بررسی قرار دادند. برای بررسی نحوه عملکرد مدل‌ها از مقایسه چند معیاره توسعه‌یافته جهت

1 Swarm intelligence

Archive of SID

www.SID.ir

بیان کارآیی سیستم مخازن استفاده‌شده است. نتایج حاکی از آن است که در بهره‌برداری تک‌مخزنه چنانچه هدف رسیدن به اعتمادپذیری حجمی مطلوب باشد می‌توان از مدل‌های شبیه‌سازی به‌جای مدل‌های بهینه‌سازی استفاده کرد. زهرایی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی به‌منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب سیستان از مدل RIBASIM استفاده کردند. نتایج تحقیق حاکی از آن بود که تمامی سناریوهای تغییر اقلیم تعریف‌شده، موجب کاهش آوردهای ورودی پیش‌بینی‌شده به چاه‌نیمه‌ها (منطقه موردمطالعه در زابل) شده که در نتیجه منجر به کاهش درصد تأمین نیازهای آبی نیز شده است. نوروزی و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سدهای گلستان، وشمگیر و بوستان واقع در حوضه گرگان‌رود را به‌روش الگوریتم ژنتیک چند جمعیتی در مدل MATLAB[1] انجام دادند و میزان بهینه آب خروجی از هر یک از مخازن جهت تأمین نیازهای کشاورزی در ماه‌های مختلف سال را به‌دست آوردند. با توجه به این‌که رشد اقتصادی منطقه حاشیه سد وشمگیر (استان گلستان) نیازمند راه‌اندازی و توسعه بخش صنعت است و نیز تاکنون در مطالعات و برنامه‌ریزی تخصیص منابع آب منطقه حاشیه سد وشمگیر (مخازن سدهای گلستان و وشمگیر)، آبی برای بخش صنعت در نظر گرفته نشده است لذا برای برنامه‌ریزی دقیق، تخصیص مناسب آب و هم‌چنین افزایش اعتمادپذیری سرمایه‌گذاران در بخش صنعت منطقه حاشیه سد وشمگیر، انجام این تحقیق از ضرورت ویژه‌ای برخوردار است. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی اقدامات توسعه در قالب تخصیص آب به بخش‌های مختلف کشاورزی، آبزی‌پروری، صنعت و محیط‌زیست در حوضه گرگان‌رود است.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

دشت گرگان در شمال شرق ایران بین طول‌های جغرافیایی ۴۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی واقع گردیده است. استان گلستان از شمال به کشور ترکمنستان، از جنوب به رشته‌کوه‌های البرز، از شرق به کوه‌های بینالود، آلاداغ و رشته‌کوه هزار مسجد و از سمت غرب به دریای خزر محدود است که از دیدگاه کشاورزی یکی از مناطق حاصل‌خیز کشور محسوب شده و جهت آبیاری آن علاوه بر آب‌های سطحی از ذخایر آب‌های زیرسطحی و زیرزمینی نیز استفاده به‌عمل می‌آید که پس از آبیاری اراضی اطراف خود در نهایت به دریای خزر می‌ریزد. در شکل ۱ ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

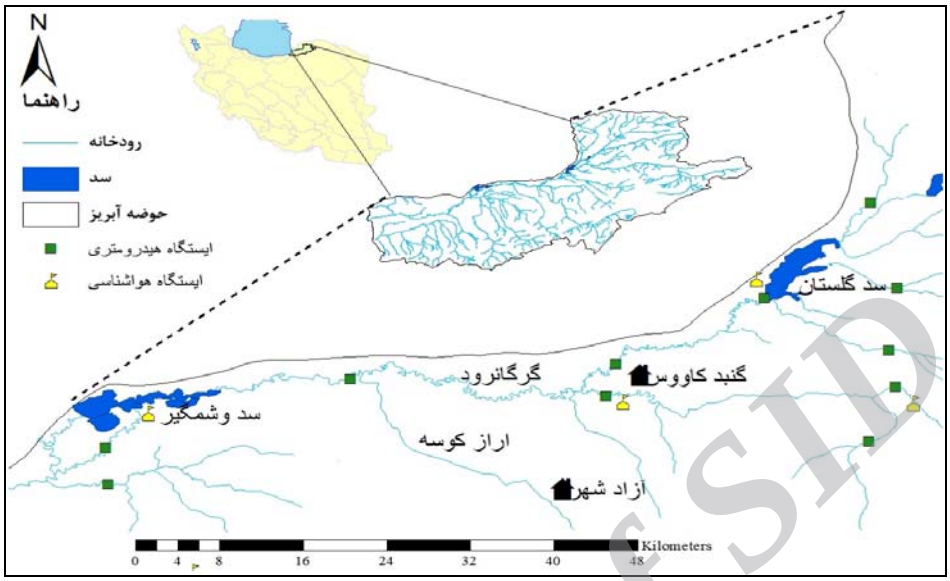
مدل WEAP

مدیریت آب در سیستم پشتیبانی تصمیم WEAP توسط تعیین اولویت و ترجیح در برداشت از منابع انجام می‌شود. سپس از این اولویت‌ها و ترجیحات و مقادیر تقاضا برای ساختن یک‌روند بهینه‌سازی استفاده می‌گردد. انواع تقاضاها عبارت هستند از شهری، صنعتی، کشاورزی و الزامات درونی جریان رودخانه. در مدل WEAP برای این‌که مقادیر آبدهی به مدل در طول زمان تغییر کند، دو راهبرد ارائه‌شده است. اگر پیش‌بینی‌های تفصیلی موجود باشد، می‌توان تغییرات دبی را مستقیماً وارد مدل کرد. روش سال آبی روش دیگری است که در این مطالعه مورداستفاده قرارگرفته است. برای استفاده از مدل WEAP لازم است که یک سال به‌عنوان سال پایه انتخاب گردد. منظور از سال پایه سالی است که دارای اطلاعات و آمار کافی و با دقت لازم باشد. در این تحقیق سال ۱۳۹۰ به‌عنوان سال پایه انتخاب گردید. مدل با استفاده از اطلاعات سال پایه به بررسی تأثیر سناریوهای مدیریتی مختلف برای یک دوره آماری بلندمدت ۲۵ ساله (۱۳۹۰ تا ۱۴۱۵) می‌پردازد.

1 Mathematical Laboratory

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه موردمطالعه.

روند وضعیت آب و هوایی

به‌منظور مدل‌سازی مدیریت منابع آب حوضه آبریز گرگان‌رود با استفاده از روش سال آبی، شبیه‌سازی روند اقلیمی در دوره‌های آتی ضروری است. بدین منظور ابتدا متغیرهای اقلیمی دما و بارندگی تحت سناریو انتشار B2 مدل HADCAM3 برای دوره پایه و دوره‌های آتی در سطح حوضه گرگان‌رود از تارنمای IPCC استخراج گردید. سپس متوسط ماهیانه بارندگی درازمدت (سی‌ساله) برای ایستگاه هواشناسی قزاقلی به‌عنوان نماینده کل منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید. گام بعدی در محاسبات مدل‌های اقلیمی ریزمقیاس کردن اطلاعات به‌دست‌آمده است که برای ارزیابی و تولید داده‌های بارندگی و دما از مدل LARS-WGS برای کل دوره زمانی استفاده گردید. بر اساس این مدل دوره ۴۵ ساله (۱۳۴۴-۱۳۹۰) به‌عنوان دوره پایه و سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۱۵ دوره آتی در نظر گرفته‌شده است. در ادامه با در اختیار داشتن داده‌های مورد نیاز مدل شامل مقادیر روزانه بارش ایستگاه قزاقلی پس از پردازش، مرتب‌سازی داده‌ها و تهیه فایل‌های ورودی، مدل برای دوره پایه اجرا گردید. بدین ترتیب مرحله واسنجی به پایان رسید. در مرحله بعد با استفاده از آماره‌های ضریب تبیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE)، اقدام به ارزیابی داده‌های تولیدشده توسط مدل و داده‌های واقعی (مشاهده‌شده) موجود در دوره پایه گردید. در نهایت با داشتن اطلاعات بارندگی سالانه به‌دست‌آمده از روش فوق، روند وضعیت آب و هوایی برای ۲۵ سال آینده مشخص گردید. بدین ترتیب کمینه مقدار بارش (سال خیلی خشک)، بیشینه مقدار بارش (سال خیلی تر)، مقدار میانه (سال نرمال)، بین سال خیلی خشک و سال نرمال (سال خشک) و بین سال خیلی تر و سال نرمال (سال‌تر) در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از اجرای مدل برای روش سال آبی در جدول ۱ آورده شده است. در جدول ۲ روند وضعیت آب و هوایی در شرایط واقعی نشان داده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- حدود و ضرایب تعریف رژیم‌های سال آبی.

روش سال آبی	میانگین بارش (mm)
خیلی خشک	کم‌تر از ۱۳۵/۸
خشک	۱۳۵/۸-۱۷۴/۶
نرمال	۱۷۴/۶-۲۱۳/۴
تر	۲۱۳/۴-۲۸۱/۳
خیلی تر	بیش‌تر از ۲۸۱/۳

داده‌های ورودی به مدل نیاز زیست‌محیطی

یکی از مؤلفه‌های بیلان آب سیستم مطالعاتی، نیاز زیست‌محیطی **است**. رهاسازی آب از سد به‌منظور پایداری، احیا، بهبود اکوسیستم‌های آبی پایین‌دست و حفظ کیفیت و خودپالایی رودخانه ضروری است. در این مطالعه حقابه زیست‌محیطی مطابق با روش مونتانا (تنانت ۱۹۷۶) محاسبه‌شده است. جدول۳ کمینه میزان رهاسازی آب از سد با توجه به شرایط حیات آبزیان به‌دست آمده به‌روش مونتانا را نشان می‌دهد.

جدول ۲- روند وضعیت آب و هوایی در شرایط واقعی.

روند وضعیت آب و هوایی مرطوب (Wet)، **نرمال** (Norm) **و خشک** (Dry)

۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۲
نرمال	تر	تر	تر	نرمال	خشک	خشک	نرمال	خشک	تر	خشک	نرمال	نرمال
۱۴۰۳	**۱۴۰۴**	**۱۴۰۵**	**۱۴۰۶**	**۱۴۰۷**	**۱۴۰۸**	**۱۴۰۹**	**۱۴۱۰**	**۱۴۱۱**	**۱۴۱۲**	**۱۴۱۳**	**۱۴۱۴**	**۱۴۱۵**
نرمال	نرمال	تر	تر	خشک	تر	نرمال	خشک	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال	تر

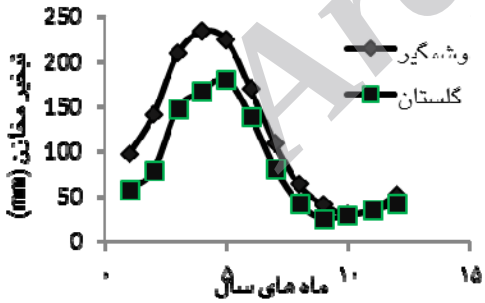
جدول ۳ - کمینه رهاسازی آب از سد.

وضعیت رودخانه	درصدهای پیشنهادی از میانگین آورد سالانه رودخانه	
	پاییز- زمستان	بهار- تابستان
بسیار عالی	۴۰	۶۰
عالی	۳۰	۵۰
خوب	۲۰	۴۰
عادلانه (قابل‌قبول)	۱۰	۳۰
ضعیف	۱۰	۱۰
تخریب شدید	۰-۱۰	۰-۱۰

در این مطالعه از طبقه‌بندی قابل قبول استفاده شده است. بدین ترتیب که در شش ماه اول سال ۳۰ درصد و در شش ماه دوم سال ۱۰ درصد آبدهی رودخانه به نیاز زیست‌محیطی تعلق دارد.

تبخیر

یکی از داده‌های ورودی به مدل، تبخیر از سطح مخزن است که با توجه به منحنی حجم- سطح- ارتفاع در سطوح مختلف محاسبه می‌شود. در مدل WEAP با وارد کردن تبخیر ماهانه و منحنی حجم- سطح- ارتفاع، تبخیر با توجه به سطح مخزن در هر ماه محاسبه می‌شود. شکل ۲ متوسط تبخیر ماهانه سال ۹۰ را در ایستگاه‌های مورد نظر نشان می‌دهد.



شکل ۲- تبخیر متوسط ماهانه در ایستگاه‌های سد وشمگیر و سد گلستان.

تقاضای کشاورزی

پارامترهای موردنیاز برای بخش کشاورزی شامل سطح فعالیت سرانه (مساحت زمین‌های زیر کشت در منطقه) و سرانه استفاده از آب به‌ازای هر هکتار

Archive of SID

www.SID.ir

زمین کشاورزی (تهیه شده از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان) است. سطح زیر کشت برای سد گلستان، سد وشمگیر و بین رودخانه به‌ترتیب برابر با ۸۰۰۰، ۱۲۰۰۰ و ۱۷۲۵۰ هکتار است.

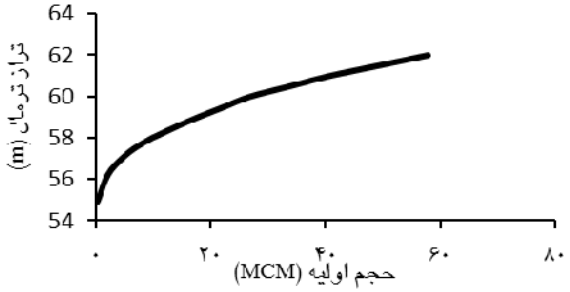
تقاضای صنعت

پارامترهای مورد نیاز برای بخش صنعت شامل حجم نیاز سالیانه صنعت بخش گلستان و وشمگیر و نیز منحنی حجم- ارتفاع مخازن سدهای گلستان و وشمگیر است. مقدار آب قابل تخصیص به بخش صنعت با توجه به دستورالعمل اجرایی سدهای گلستان و وشمگیر به‌ترتیب ۵ و ۱۰ میلیون مترمکعب در سال است. شکل‌های ۳ و ۴ به‌ترتیب منحنی‌های حجم- ارتفاع مخازن سدهای گلستان و وشمگیر را در سال ۱۳۹۰ نشان می‌دهد.

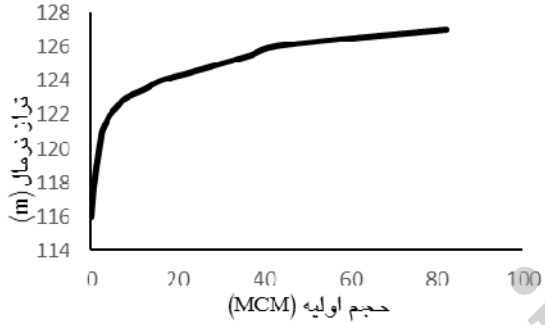
صحت‌سنجی

برای صحت‌سنجی مدل می‌توان از مقایسه دبی‌های شبیه‌سازی و دبی‌های مشاهداتی در هر نقطه از مدل استفاده کرد. ابتدا بر اساس داده‌های واقعی جریان رودخانه گرگان‌رود، متوسطی از دبی‌های ماهانه چندین سال اخیر برای ایستگاه قزاقلی به‌دست آورده شده و به‌عنوان داده‌های اندازه‌گیری شده وارد مدل گردید. برای به‌دست آوردن دبی‌های شبیه‌سازی‌شده یک ایستگاه اندازه‌گیری در مدلWEAP، به‌نام Streamflow Gauge بر روی رودخانه در نزدیکی ایستگاه قزاقلی قرار داده شد سپس در همین مکان دبی‌های شبیه‌سازی‌شده از مدل WEAP استخراج گردید. در این تحقیق مقدار ضریب تبیین (R^2) بین دبی‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی‌شده برابر ۰/۸۷ به‌دست آمد (شکل ۵) که همبستگی خوبی را نشان می‌دهد.

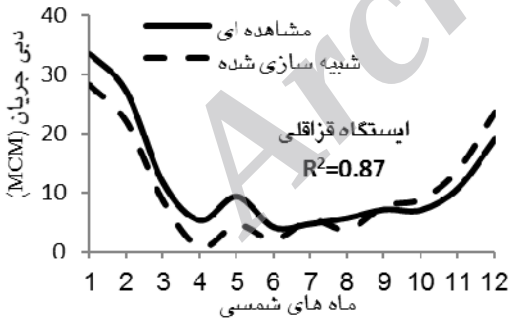
شکل ۵ نیز نشان می‌دهد بیشتر دبی‌های ماهانه عبوری از رودخانه در ایستگاه قزاقلی، به داده‌های واقعی بسیار نزدیک بود و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) آن برابر ۳/۵ میلیون متر مکعب است.



شکل ۳- منحنی حجم- ارتفاع سد گلستان.



شکل ۴- منحنی حجم- ارتفاع سد وشمگیر.



شکل ۵- تغییرات ماهانه دبی جریان در شرایط واقعی و مدل (میلیون متر مکعب).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴- متوسط دبی ماهانه رودخانه‌ها در سال ۱۳۹۰ (میلیون متر مکعب).

ماه‌های سال آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۰	ایستگاه				
	قره‌سو	حاجی قوشان	تنگراه	اوغان	اراز کوسه
مهر	۱/۷۶	۰/۹۸	۰/۳۳	۱/۰۴	۱/۶۹
آبان	۱/۹۳	۰/۹۹	۰/۳۱	۱/۱۵	۲/۳۱
آذر	۲/۲۹	۰/۶۳	۰/۳۵	۱/۳۴	۳/۱۱
دی	۲/۴۳	۰/۵۳	۰/۴۱	۱/۳۹	۳/۶۰
بهمن	۳/۰۶	۰/۶۷	۰/۶۲	۱/۸۲	۵/۴۵
اسفند	۶/۵۲	۰/۷۲	۱/۷۷	۳/۶۹	۱۰/۱۴
فروردین	۱۰/۱۱	۱/۸۶	۲/۷۸	۳/۶۰	۱۳/۲۶
اردیبهشت	۶/۹۰	۱/۵۴	۳/۰۳	۳/۸۷	۸/۰۱
خرداد	۳/۵۵	۰/۹۵	۱/۳۶	۲/۰۴	۲/۴۶
تیر	۲/۴۳	۰/۳۷	۰/۶۰	۱/۴۳	۰/۸۶
مرداد	۳/۱۲	۱/۶۶	۱/۰۴	۱/۷۶	۱/۰۶
شهریور	۶/۰۰	۰/۷۰	۰/۲۹	۱/۱۲	۱/۰۶

رسوب‌گذاری در مخزن

برنامه‌ریزی منابع آب، برنامه‌ریزی توسعه، ذخیره و تخصیص منابع محدود (درون‌بخشی یا بین‌بخشی)، منطبق با موجودیت و تقاضا و با در نظر گرفتن مجموعه کاملی از اهداف ملّی، محدودیت‌ها و علایق ذی‌نفعان می‌باشد. ازاین‌رو سناریوهایی در جهت برنامه‌ریزی منابع آب حوضه گرگان‌رود در نظر گرفته‌شده است. در ادامه به بررسی تأمین تقاضا در سناریوها که در آن طبق تعریف مدیریت جامع منابع آب، جنبه‌های مختلف برنامه‌ریزی منابع آب گنجانده‌شده است، پرداخته می‌شود. در برنامه‌ریزی که توسط شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان صورت گرفته، تخصیص آب به مصارف مختلف برای سال پایه مشخص‌شده است. در این مدل سال ۱۳۹۰ به‌عنوان سال پایه فرض شده است. آورد متوسط دبی ماهانه رودخانه‌ها با استفاده از داده‌های موجود در ۴۵ سال گذشته برای سال ۹۰ به‌دست آمد که در جدول ۴ نشان داده‌شده است.

در پایان با بررسی و ارزیابی نتایج سناریوها با مبنای مشابه و تعیین سناریوی برتر به برنامه‌ریزی منابع آب پرداخته می‌شود. مروری بر مطالعات گذشته نشان داد که در مدل‌سازی با استفاده از مدل WEAP رسوب‌گذاری در مخازن یک‌بار در سال پایه معرفی می‌شود و از رسوب‌گذاری در سال‌های بعد صرف‌نظر می‌شود که این خود موجب اختلافی در نتیجه مطالعات به‌دست‌آمده می‌شود. در این مطالعه رسوب‌گذاری در مخازن به‌صورت اضافه نمودن حجم مرده در پایان هر ماه به‌صورت تجمعی، در نظر گرفته‌شده است.

سناریوهای تخصیص آب

سناریوی مرجع (S)

در این سناریو، شرایط آب و هوایی خشک‌سالی، ترسالی و نرمال طبق وضع موجود و روند آتی پیش‌بینی‌شده است. این روند در جدول ۲ نشان داده شده است. حجم نرمال مخازن سدهای گلستان و وشمگیر به‌ترتیب ۵۷/۸ و ۸۲/۱۳ میلیون متر مکعب و حجم اولیه مخازن صفر در نظر گرفته شده است. رسوب‌گذاری در مخازن سدهای گلستان و وشمگیر در نظر گرفته نشده است. هدف از ایجاد این سناریو، نزدیک شدن مدل به شرایط واقعی و برنامه‌ریزی موجود در منطقه بوده است.

سناریوی توسعه حاشیه سد وشمگیر (S1)

این سناریو بر مبنای سناریو مرجع ایجادشده است. شرایط آب و هوایی و حجم مخازن سدها، مشابه

Archive of SID

www.SID.ir

سناریو مرجع (S) در نظر گرفته‌شده است. در این سناریو، نیاز سالیانه صنعت به مقدار ۱۰ میلیون متر مکعب و توسعه اراضی کشاورزی به مقدار ۶۰۰۰ هکتار، در نظر گرفته‌شده است. هدف از ایجاد این سناریو، در نظر گرفتن حقوق ذینفعان در بخش کشاورزی و صنعت است.

سناریوی توسعه حاشیه سد وشمگیر با در نظرگرفتن رسوب‌گذاری در مخازن (S1-2)

این سناریو بر مبنای سناریو (S1) ایجادشده است. شرایط آب و هوایی و حجم مخازن سدها مشابه سناریو مرجع (S) در نظر گرفته‌شده است. در این سناریو، رسوب‌گذاری در مخازن تا افق زمانی ۱۴۰۰ در نظر گرفته‌شده است. رسوب‌گذاری در مخازن به‌صورت تجمعی در اواخر هر ماه به حجم مرده سد، به‌صورت ماهانه اضافه‌شده است. آورد رسوب متناسب با آورد رودخانه در شرایط آب و هوایی مختلف تغییر می‌کند. هدف از ایجاد این سناریو نزدیک شدن مدل به شرایط واقعی با در نظر گرفتن توسعه حاشیه سد وشمگیر است.

سناریو توسعه حاشیه سد وشمگیر با در نظر گرفتن رسوب‌گذاری در مخازن، کاهش آورد رسوب به مخازن و افزایش راندمان آبیاری (S1-3)

این سناریو نیز بر مبنای سناریو (S1) ایجادشده است. شرایط آب و هوایی و حجم مخازن سدها، مشابه سناریو مرجع (S) در نظر گرفته‌شده است. در این سناریو برای بهبود وضعیت مدیریت آب، راندمان آبیاری در بخش کشاورزی ۱۰٪ افزایش‌یافته است. در مخازن سدها هر ۵ سال، کاهش آورد رسوب به مخزن به‌میزان ۱ میلیون متر مکعب در نظر گرفته‌شده است. هدف از ایجاد این سناریو، نزدیک شدن مدل به شرایط واقعی با در نظر گرفتن توسعه حاشیه سد وشمگیر، ارائه راهکارهای مدیریتی و بررسی تأثیر آن بر تأمین نیازها است. در جدول ۳ خلاصه‌ای از سناریوهای ایجادشده، ارائه شده است.

سناریوی توسعه حاشیه سد وشمگیر با در نظر گرفتن رسوب (S2)

این سناریو بر مبنای سناریو مرجع ایجادشده است. شرایط آب و هوایی و حجم مخازن سدها، مشابه سناریو مرجع (S) در نظر گرفته شده است. در این سناریو رسوب‌گذاری در مخازن مشابه با سناریو (S1-3) در نظر گرفته شده است. هدف از ایجاد این سناریو نزدیک شدن مدل به شرایط واقعی با در نظر گرفتن نیازها در شرایط موجود است.

جدول ۵- سناریوهای تخصیص آب.

سناریو	توضیحات
S	سناریو مرجع- توسعه منابع آب
S1	بر مبنای سناریو مرجع- توسعه اراضی کشاورزی با در نظر گرفتن صنعت وشمگیر
S1-2	بر مبنای سناریو S1 - توسعه حاشیه سد وشمگیر با در نظر گرفتن رسوب‌گذاری در مخازن
S1-3	بر مبنای سناریو S1- توسعه حاشیه سد وشمگیر با در نظر گرفتن رسوب‌گذاری و کاهش آورد رسوب به مخازن
S2	بر مبنای سناریو مرجع- در نظر گرفتن رسوبات

مقایسه سناریوها

تخطی کارایی سیستم از یک آستانه کارایی یا عدم توانایی سیستم در تأمین آب موردنیاز را، شکست سیستم[8] می‌گویند. کارایی سیستم و یا شکست را از چند روش می‌توان بررسی کرد که در این تحقیق برای مقایسه سناریوها با یکدیگر از

[8] System Failure

Archive of SID

www.SID.ir

معیار اعتمادپذیری[9] استفاده شده است (هاشیموتو و همکاران ۱۹۸۲).

به‌طورمعمول آستانه شکست به‌صورت نیاز آبی پایین‌دست تعریف می‌شود ولی این موضوع قراردادی است و می‌توان آن را تغییر داد.

خروجی‌های سیستم به دو مجموعه مقادیر رضایت‌بخش (S) و مقادیر نارضایت‌بخش (F)، تقسیم می‌شوند. اعتمادپذیری سیستم (α_Q) یا فراوانی نسبی عدم شکست، یعنی احتمال آن‌که سیستم در حالت رضایت‌بخش است و مقدار آن از رابطه زیر محاسبه می‌گردد (کجلسن و رسجرگ ۲۰۰۴، گنجی و همکاران ۱۳۸۵):

$$\alpha_Q = \frac{\sum_{t=1}^{T} R_t}{\sum_{t=1}^{T} D_t} \qquad [۱]$$

در اینجا افق برنامه‌ریزی شامل T گام زمانی است. R_t، کمینه مقدار آب تخصیص داده‌شده در گام زمانی t و D_t، مقدار نیاز در گام زمانی t است.

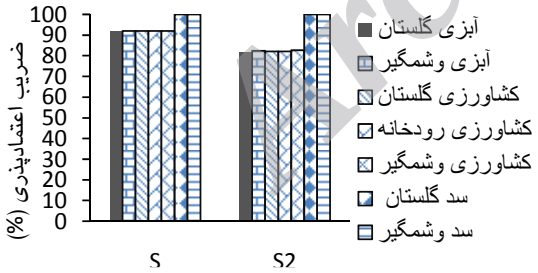
نتایج و بحث

اعتمادپذیری سیستم

این شاخص با محاسبه تعداد شکست در هر نیاز در طول دوره شبیه‌سازی تعیین می‌شود. ارزیابی این شاخص برای سناریوها در جدول ۶ نشان داده‌شده است. جدول ۴ نشان می‌دهد که شاخص اعتمادپذیری در همه سناریوها نسبت به سناریو مرجع کم‌تر است. دلیل این امر به‌دلیل معلوم نبودن وضعیت رسوب‌گذاری در مخازن، نداشتن نیاز بخش صنعت سد وشمگیر و داشتن اراضی کشاورزی کم‌تر در سد وشمگیر است. ازاین‌رو برای مقایسه بهتر سناریوها در ادامه به ارزیابی سناریوها بر مبنای مشابه پرداخته‌شده است.

مقایسه سناریوهای S2 و S

سناریو S2 مطابق با سناریو S یعنی همان وضعیت، با این تفاوت که رسوب‌گذاری شبیه‌سازی‌شده در ۱۰ سال آینده نیز به مدل‌سازی اضافه‌شده، تعریف‌شده است. بررسی این دو سناریو نشان‌دهنده تفاوت در تأمین آب در مخازن سدها در دو حالت با رسوب‌گذاری و بدون رسوب‌گذاری خواهد بود. مطابق شکل ۶ در سناریو S2 نسبت به سناریو S، میزان اعتماد‌پذیری سیستم به مقدار ۱۰ درصد کاهش پیدا می‌کند. این تغییرات فقط برای بخش‌های کشاورزی و آبزی‌پروری رخداده است. هم‌چنین در شکل ۷ میزان کمبود آب تخصیص‌یافته در حالت بدون رسوب‌گذاری در سناریو S2 بیش‌ترین درصد کمبود نسبت به سناریو S برابر ۱۲/۹ درصد مربوط به سال ۱۴۱۰ است. حجم متوسط تلفات تبخیر با توجه به جداول ۷ و ۸، در سناریو S2 بیش‌تر از سناریو S است و دلیل این امر، وجود رسوب در مخازن است که این باعث افزایش سطح مخزن و افزایش تلفات تبخیر می‌گردد. حجم مخازن مطابق با شکل ۸، در سناریو S به‌میزان ۲۲ میلیون متر مکعب، بیش‌تر از سناریو S2 است.



شکل ۶- مقایسه ضرایب اعتمادپذیری (درصد) سناریوهای S2 و S

[9] Reliability

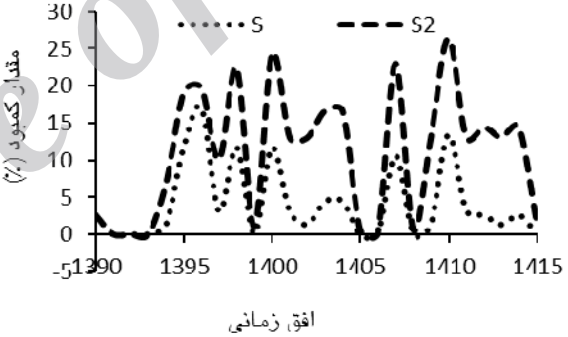
Archive of SID

www.SID.ir

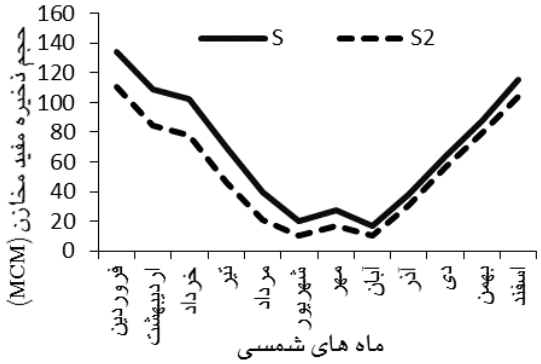
جدول ۶- ضریب اعتمادپذیری (درصد) برای هر نیاز تحت سناریوهای مدیریتی.

سناریو	مصارف						
	آبزی‌پروری گلستان	آبزی‌پروری وشمگیر	کشاورزی گلستان	کشاورزی رودخانه	کشاورزی وشمگیر	صنعت گلستان	صنعت وشمگیر
S	۹۱/۹۹	۹۱/۹۹	۹۱/۹۹	۹۱/۹۹	۹۱/۹۹	۱۰۰	۱۰۰
S1	۸۳/۶۵	۸۳/۶۵	۸۳/۶۵	۸۳/۶۵	۸۳/۶۵	۱۰۰	۱۰۰
S1-2	۷۷/۲۴	۷۷/۲۴	۷۷/۲۴	۷۷/۲۴	۷۷/۲۴	۱۰۰	۱۰۰
S1-3	۸۵/۲۶	۸۵/۲۶	۸۵/۵۸	۸۵/۵۸	۸۵/۵۸	۱۰۰	۱۰۰
S2	۸۱/۷۳	۸۲/۳۷	۸۲/۰۵	۸۲/۰۵	۸۲/۶۹	۱۰۰	۱۰۰

دلیل این امر برداشت آب جهت توسعه اراضی و اختصاص به بخش صنعت و در نتیجه کاهش حجم مخزن بوده است. نیاز زیست‌محیطی در مخازن سد گلستان و وشمگیر، در هر دو سناریو به‌دلیل داشتن اولویت ۱ در مدل تأمین می‌گردد.



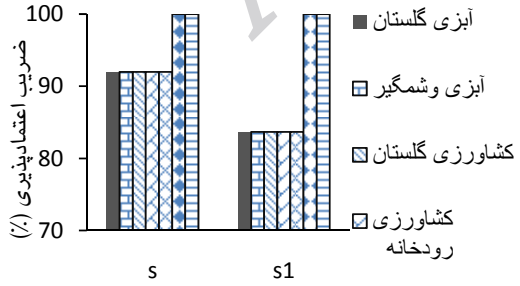
شکل ۷- درصد مقدار کمبود در سناریوهای S و S2.



شکل ۸- حجم ذخیره مفید مخازن در سناریو S و S2 (میلیون متر مکعب).

مقایسه سناریوهای S1 با S

در مقایسه سناریوهای S و S1 با توجه به این‌که هر دو سناریو در بخش نیازها، دارای تفاوت هستند می‌توان پیش‌بینی کرد که در تأمین این نیازها سناریو S1 دارای اعتمادپذیری کم‌تری نسبت به سناریو S باشد. در جدول ۴ مقدار اعتمادپذیری سیستم در سناریو S برای همه مصارف به‌جز بخش صنعت برابر ۹۱/۹۹ درصد و در بخش صنعت برابر ۱۰۰ درصد است. ازآنجایی‌که اولویت تأمین در بخش صنعت بالاتر از نیازهای دیگر است، تأثیر اضافه شدن این نیاز به‌میزان ۱۰ میلیون متر مکعب در سال بر بخش‌های دیگر مشهود است. علاوه بر این اضافه شدن ۶۰۰۰ هکتار به اراضی کشاورزی سد وشمگیر با کشت غالب پنبه و گندم نیز موجب شده است که در مجموع در بخش‌های متأثر اعتمادپذیری سیستم به‌میزان ۸/۳۵ درصد کاهش یابد که این میزان کاهش در شکل ۹ مشاهده می‌شود.



شکل ۹- مقایسه ضرایب اعتمادپذیری (درصد) سناریوهای S1 و S.

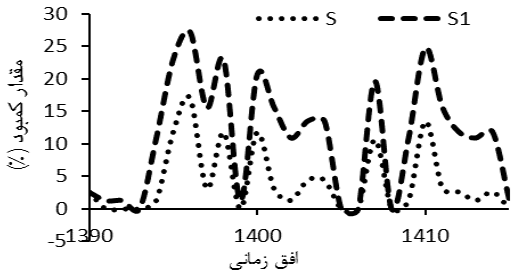
Archive of SID

www.SID.ir

این بررسی نشان می‌دهد که اضافه نمودن نیاز صنعت برای منطقه به‌اندازه ۱۰ میلیون متر مکعب در سال باعث کاهش اعتمادپذیری سیستم می‌گردد اما این میزان اعتمادپذیری پذیرفتنی است. نیاز زیست‌محیطی در مخازن سد گلستان و وشمگیر، در هر دو سناریو به‌دلیل داشتن اولویت ۱ در مدل تأمین می‌گردد.

مقدار کمبود در تأمین آب به بخش‌های مختلف سناریو S نسبت به سناریو S1 در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود. در سال ۱۴۱۲ بیش‌ترین کمبود در سناریو S1 به مقدار ۱۲/۵ درصد به‌دست‌آمده است و در سال‌های ۱۳۹۰، ۱۳۹۳، ۱۴۰۵، ۱۴۰۶ و ۱۴۰۸ این مقدار به صفر می‌رسد.

حجم متوسط تلفات تبخیر با توجه به جداول ۷ و ۸، در سناریو S بیش‌تر از سناریو S1 است و دلیل این امر افزایش برداشت بیش‌تر در سناریو S1 جهت توسعه اراضی کشاورزی و صنعت است که باعث کاهش حجم و سطح مخزن می‌گردد که این باعث کاهش تلفات تبخیر می‌شود.



شکل ۱۰- درصد مقدار کمبود در سناریوهای S و S1.

جدول ۷- متوسط تلفات تبخیر ماهانه سد گلستان (MCM).

سناریو	ماه‌های سال												
	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	جمع
S	۰/۹۳	۱/۳۶	۲/۴۹	۲/۷۲	۲/۴۱	۱/۱۹	۰/۳۵	۰/۲۸	۰/۰۶	۰/۲۴	۰/۳۷	۰/۵۸	۱۳/۰۰
S1	۰/۹۳	۱/۳۵	۲/۳۲	۲/۳۹	۱/۷۱	۰/۵۲	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۰۱	۰/۱۹	۰/۳۲	۰/۵۵	۱۰/۶۲
S1-2	۰/۹۷	۱/۳۶	۲/۴۲	۲/۵۶	۱/۹۱	۱/۲۲	۰/۶۷	۰/۳۶	۰/۲۰	۰/۳۴	۰/۴۸	۰/۶۸	۱۳/۱۶
S1-3	۰/۹۷	۱/۳۶	۲/۵۲	۲/۷۴	۲/۴۸	۱/۴۴	۰/۷۰	۰/۴۱	۰/۲۱	۰/۳۴	۰/۴۹	۰/۶۸	۱۴/۳۴
S2	۰/۹۸	۱/۳۶	۲/۵۳	۲/۷۴	۲/۴۸	۱/۴۴	۰/۷۰	۰/۴۱	۰/۲۱	۰/۳۶	۰/۴۹	۰/۷۰	۱۴/۴۰

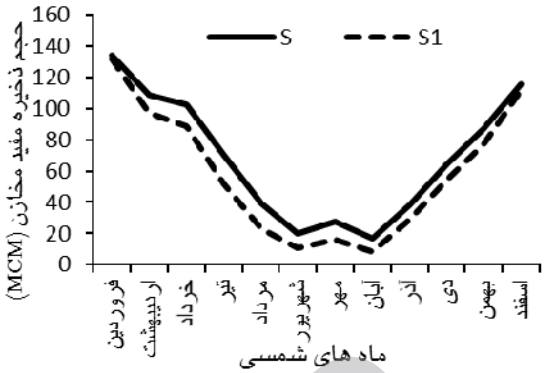
جدول ۸- متوسط تلفات تبخیر ماهانه سد وشمگیر (MCM).

سناریو	ماه‌های سال												
	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	جمع
S	۰/۸۳	۰/۹۷	۲/۰۹	۱/۹۸	۱/۸۵	۰/۹۶	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۲۲	۰/۵۱	۱۰/۰۱
S1	۰/۸۳	۱/۰۱	۲/۱۴	۲/۰۰	۱/۲۷	۰/۳۸	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۹	۰/۲۲	۰/۴۹	۸/۵۸
S1-2	۰/۷۵	۰/۹۷	۲/۱۹	۲/۰۳	۱/۳۶	۰/۸۸	۰/۵۰	۰/۲۴	۰/۱۳	۰/۲۰	۰/۳۱	۰/۵۲	۱۰/۰۹
S1-3	۰/۷۴	۰/۹۶	۲/۰۹	۱/۹۸	۱/۷۸	۱/۰۹	۰/۵۲	۰/۳۳	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۳۱	۰/۵۰	۱۰/۶۰
S2	۰/۷۴	۰/۹۶	۲/۰۹	۱/۹۸	۱/۷۸	۱/۱۴	۰/۵۳	۰/۳۳	۰/۱۴	۰/۲۲	۰/۳۰	۰/۵۰	۱۰/۷۱

حجم مخازن مطابق با شکل ۱۱، در سناریو S به‌میزان ۱۰ میلیون متر مکعب بیش‌تر از سناریو S1 است. دلیل این امر اختصاص آب جهت توسعه اراضی کشاورزی و صنعت است.

Archive of SID

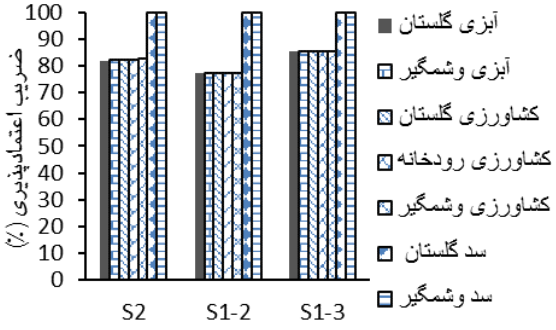
www.SID.ir



شکل ۱۱- حجم ذخیره مفید مخازن در سناریو S و S1 (میلیون متر مکعب).

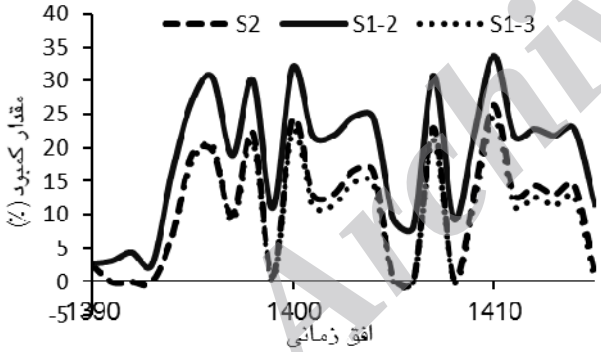
مقایسه سناریو S1-2 با S1-3 و S2

دو سناریوی S2 (شرایط موجود با در نظر گرفتن رسوب مخازن) و سناریو S1-2 (توسعه حاشیه سد وشمگیر در بخش‌های کشاورزی و صنعت با در نظر گرفتن رسوب‌گذاری)، برای مقایسه نهایی انتخاب‌شده است. دراین‌بین سناریو مدیریتی S1-3 با در نظر گرفتن بهبود وضعیت برنامه‌ریزی و افزایش اعتمادپذیری سیستم با دو سناریو ذکرشده، مقایسه می‌گردد. میزان اعتمادپذیری سیستم در سناریو S2، S1-2 و S1-3 به‌طور متوسط و به‌ترتیب برابر با ۸۲، ۷۷ و ۸۵ درصد است. اعتمادپذیری سیستم در سناریو S1-2 نسبت به سناریو S2 پایین‌تر است و این به‌دلیل اضافه شدن بخش مصارف صنعت و توسعه اراضی کشاورزی به برنامه‌ریزی تخصیص آب است. همان‌طور که شکل ۱۲ نشان می‌دهد، شاخص اعتماد-پذیری در سناریو مدیریتی S1-3 با افزایش راندمان آبیاری به‌میزان ۱۰ درصد و کاهش آورد رسوب به مخازن هر پنج سال به‌میزان ۱ میلیون متر مکعب از مخازن سدها، اعتمادپذیری سیستم افزایش می‌یابد. علاوه بر این شاخص اعتمادپذیری سناریو S1-3 نسبت به حالت قبلی نیز بیش‌تر شده است و این به‌دلیل کاهش آورد رسوب به مخازن است. نیاز زیست‌محیطی در مخازن سد گلستان و وشمگیر، در هر دو سناریو به‌دلیل داشتن اولویت ۱ در مدل تأمین می‌گردد.



شکل ۱۲- مقایسه ضرایب اعتمادپذیری (درصد) سناریوهای S2، S1-2 و S1-3.

متوسط تلفات تبخیر در سناریوی S2 نسبت به سناریوهای S1-2 و S1-3 بیش‌تر است و این به‌دلیل وجود رسوب در مخازن است که باعث افزایش حجم تلفات تبخیر گردیده است. این افزایش حجم تلفات تبخیر در جداول ۷ و ۸ نشان داده‌شده است. بر اساس شکل ۱۳ درصد کمبود در سناریو S1-3 از دو سناریو S2 و S1-2 به‌دلیل برنامه‌ریزی مدیریتی کاهش آورد رسوبات کمتر است.

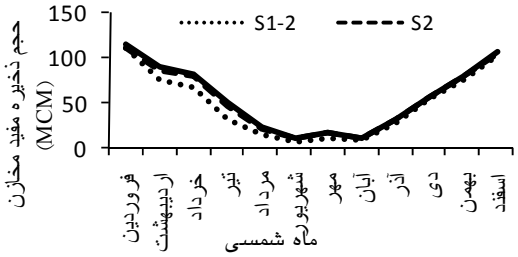


شکل ۱۳- درصد مقدار کمبود در سناریوهای S2، S1-2 و S1-3.

حجم مخزن بر اساس شکل ۱۴، در سناریو S1-3 به‌میزان ۱/۱ میلیون متر مکعب بیش‌تر از سناریو S2 و ۶/۷ میلیون متر مکعب بیش‌تر از سناریو S1-2 است. دلیل این امر کاهش آورد رسوب به مخزن است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱۴- حجم ذخیره مفید مخازن در سناریوهای S2، S1-2 و S1-3.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق به برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب حوضه گرگان‌رود با استفاده از مدل WEAP پرداخته شد. نتایج حاصل از این تحقیق حاکی از آن است که در برنامه‌ریزی جدید تخصیص منابع آب حوضه گرگان-رود می‌توان با پذیرفتن کاهش اعتمادپذیری سیستم به‌اندازه ۵ ٪، نیاز صنعت حاشیه سد وشمگیر به‌اندازه ۹/۵ میلیون متر مکعب را تأمین کرد. از طرفی در نظر نگرفتن رسوب‌گذاری مخزن در مدل‌سازی، میزان اعتمادپذیری سیستم را به‌میزان قابل‌توجهی کاهش می-دهد. بنابراین مدل‌سازی این مهم اجتناب‌ناپذیر است. کاهش رسوب‌گذاری در مخزن، هر پنج سال به‌میزان ۱ میلیون متر مکعب و افزایش راندمان آبیاری در بخش کشاورزی می‌تواند اعتمادپذیری کاهش‌یافته سیستم را در برنامه‌ریزی جدید برگرداند. این سناریوی مدیریتی یعنی سناریو S1-3 در نهایت به‌عنوان بهترین سناریو معرفی گردید.

منابع مورد استفاده

جلالی م، آذرانفر ا و افضلی ر، ۱۳۸۷. توسعه قابلیت‌های برق‌آبی در نرم‌افزار مدیریت یکپارچه منابع آب WEAP. صفحه‌های ۱ تا ۹، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ۲۳-۲۵ مهر، دانشگاه تبریز.

حافظ پرست مودت م، خلقی م و فاطمی ا، ۱۳۸۷. ارزیابی و برنامه‌ریزی منابع آب دشت تاکستان با مدل‌های LINGO و WEAP. صفحه‌های ۱ تا۸، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۷-۱۹ اردیبهشت، ۱۳۸۷، دانشگاه تهران.

خلقی م، نوری م و شفیعی ف، ۱۳۸۵. برنامه‌ریزی منابع آبی در اراضی کشاورزی جنوب تهران، ۱- آنالیز سیستم‌ها. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد۷، شماره ۲۶، صفحه‌های ۱ تا ۱۴.

زهرایی ب، جعفری بی‌بالان ب و سلطانی ج، ۱۳۹۰. مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب سیستان. صفحه‌های ۱-۸. دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، ۲۸-۲۹ اردیبهشت‌ماه. شرکت آب منطقه‌ای زنجان. زنجان.

سعیدی نیا م، صمدی بروجنی ح و فتاحی ر، ۱۳۸۷. بررسی طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای با استفاده از مدل WEAP (مطالعه موردی تونل بهشت‌آباد). مجله پژوهش آب ایران، شماره ۳، صفحه‌های ۳۳ تا ۴۴.

شوریان م و موسوی س ج، ۱۳۸۵. برنامه‌ریزی تخصیص منابع آب در سطح حوضه آبریز با اهداف انتقال آب بین حوضه‌ای. صفحه‌های ۱ تا ۸. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، ۳-۴ بهمن، دانشگاه صنعتی اصفهان.

علیزاده ح، ۱۳۸۵. ارزیابی تأثیر هیدرولوژیکی سناریوهای تخصیص آب در سطح حوضه با استفاده از نرم‌افزار WEAP. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

فرهنگی م و بزرگ حداد ا، ۱۳۸۹. ارزیابی معیارهای تخصیص در مدل‌های مدیریت سیستم مخازن در شرایط کم‌آبی، مطالعه موردی: حوضه کارون. مجله پژوهش آب ایران، سال ۴، شماره ۷ ، صفحه‌های ۳۳ تا ۴۶.

گنجی آ، خلیلی د و همایون‌فر م، ۱۳۸۵. تأثیر عدم اطمینان بر معیارهای مخاطره در مدیریت مخزن. تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۳، صفحه‌های ۱۳ تا ۲۶.

Archive of SID

www.SID.ir

نوروزی ب، بارانی غ، مفتاح هلقی م و دهقانی ا، ۱۳۹۰. بهینه‌سازی بهره‌برداری از یک سیستم چند مخزنه به‌روش الگوریتم ژنتیک چند جمعیتی مطالعه موردی (سدهای گلستان و وشمگیر). مجله پژوهش حفاظت آب‌وخاک، جلد ۱۸، شماره ۴، صفحه‌های ۱ تا ۲۰.

یزدان پناه ط، خداشناس س، داوری ک و قهرمان ب، ۱۳۸۶. مدیریت منابع آب حوضه آبریز با استفاده از مدل WEAP (مطالعه موردی ازغند). مجله علوم و صنایع کشاورزی (ویژه آب‌وخاک)، جلد ۲۲، شماره۱، صفحه‌های ۲۱۳ تا ۲۲۱.

Alfarra A, 2004. Modelling water resource management in Lake Naivasha. M.Sc. Thesis, International institute for Geo-information science and earth observation of Enscheda, The Netherlands.

Anonymous, 2000. Principles and Practices of Water Allocation among Water-Use Sectors, UNESCAP (United Nations, Economic and Social Commission for Asia and the Pacific). ESCAP Water Resources Series No. 80, Bangkok, Thailand.

Assaf H and Saadeh M, 2008. Assessing water quality management options in the Upper Litani Basin, Lebanon using an integrated GIS-based decision support system. Environmental Modelling and Software 23: 1327–1337.

Bangash RF, Passuello A, Schuhmacher M and Hammond M, 2012. Water allocation assessment in low flow river under data scarce conditions: A study of hydrological simulation in Mediterranean basin. Science of the Total Environment 440: 60-71.

Cai X, McKinney DC and Lasdon LS, 2003. Integrated hydrologic-agronomic-economic model for river basin management. Journal of Water Resource Planning and Management 129 (1): 4-17.

Chen Y, Zhang D, Sun Y, Liu X, Wang N and Savenije HHG, 2005. Water demand management: A case study of the Heihe River Basin in China. Physics and Chemistry of the Earth 30 (6): 408-419.

Hagan I, 2007. Modelling the impact of small reservoirs in the upper east region of Ghana, Master Thesis, Lund University, Sweden.

Hashimoto T, Loucks DP and Stedinger J, 1982. Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. Water Resources Research 18 (1): 14-20.

Jeniffer KM, Shadrack T, Mavengano SZ, Tsehaie W and Robert B, 2010. Water allocation as a planning tool to minimise water use conflicts in the upper EwasoNgiro North basin, Kenya. Water Resource Management 24: 3939– 3959.

Kjeldsen TR and Rosbjerg D, 2004. Choice of reliability, resilience and vulnerability estimators for risk assessments of water resources systems. Hydrological Sciences Journal 49 (5): 757-767.

Larsen H, Mark O, Jha MK and Das Gupta A, 2000. The application of models in integrated river basin management. Internal Publication des Asian Institute of Technology and DHI Water & Environment. DHI.

Leemhuis C, Jung G, Kasei R and Liebe J, 2009. The Volta Basin water allocation system: assessing the impact of small - scale reservoir development on the water resources of the Volta basin, West Africa, Advances in Geosciences 21: 57-62.

Ringler C, 2004. Water allocation policies for the DONG NAI basin in Vietnam: An integrated perspective, consultative group on international agricultural research (CGIAR). International Food Policy Research Institute127: 46-52.

Tennant D, 1976. Instream Flow Regimens for Fish, Wildlife, Recreation and related environmental resources. American Fisheries Society Journal 1(4): 6-10.

Yates D, Sieber J, Purkey D and Huber-Lee A, 2005. WEAP21 A demand, priority, and preference-driven water planning model (Part 1). International Water Resources Association, Water International 30 (4): 487-500.

Archive of SID

www.SID.ir