

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 و خاک، دانشگاه زابل

^۳ استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، 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 به دلیل جامعیت در لحاظ کردن توأم فرآیندهای فیزیکی- هیدرولوژیکی و سیستم مدیریت یکپارچه و اولویت‌بندی تخصیص منابع آب، مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. هدف اصلی از انجام این تحقیق بهره‌گیری 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 به صورت اضافه نمودن حجم مرده در پایان هر ماه به صورت 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، آبی‌پروری و زیست‌محیطی با توجه به اهداف موردنظر طرح به دست 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 به میزان ۹/۵ میلیون متر مکعب تأمین کرد. در نظر نگرفتن رسوب‌گذاری مخزن در مدل-سازی، میزان اعتمادپذیری سیستم را به میزان قابل‌توجهی کاهش داد. لحاظ نمودن کاهش رسوب‌گذاری در مخزن، (هر پنج سال به میزان ۱ میلیون متر مکعب) از یک طرف 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

Planning Water Resources Allocation under Various Managerial Scenarios in Gorganroud Basin

Z Dehghan¹, M Delbari^{2*}, O Mohammadrezapour³

Received: 29 December 2013

Accepted: 8 October 2014

¹Graduate M.Sc. of Water Resources Engin., Dept., of Water Engin., University of Zabol, Iran

²Assoc. Prof. in Dept. of Water Engin., Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Iran

³Assist. 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

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) است که یکی از روش‌های اصولی برای دستیابی به منابع آبی پایدار در سطح ملی و بین-

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

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 آبی 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 بخش‌های 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

المللی است (علیزاده ۱۳۸۵). از اوایل دهه ۱۹۸۰ میلادی و به‌موازات پیشرفت تکنولوژی در علوم گوناگون، مدل‌سازی 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^۱، RIBASIM^۲، MIKEBASIN، WBALMO و MODSIM^۳ 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^۴ 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 حقایق‌ها 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

1 Water Evaluation And Planning System

2 River Basin SIMulation

3 Model SIMulator

4 Stockholm Environmental Institute (SEI)

تقاضا در حوضه آبریز ازغند از مدل WEAP استفاده کردند. منبع اصلی آب در این حوضه آب زیرزمینی است. نتایج به دست آمده 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 دست یافت. همچنین با استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری تحت فشار در صورت کاهش سطح زیر کشت اراضی کشاورزی، تا حدودی می‌توان ذخیره آب زیرزمینی را افزایش داد، ولی در صورتی که استفاده از سیستم‌های تحت فشار 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 مورد بررسی قرار گرفت و این نتیجه به دست 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 مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که خروجی رودخانه‌های بهشت‌آباد و کوه‌رنگ در افق آینده با فرض این که طرح‌های توسعه منابع آب تعریف شده 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 مورد نیاز برای ذخیره آب و تنظیم آن برابر ۶۰۰ میلیون متر مکعب به دست 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

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 نقطه ضعف WEAP در زمینه مطالعه سیستم‌های برق‌آبی، یک روش اصلاحی برای رفع آن را ارائه نمودند. به منظور انجام مطالعات برق‌آبی، ورود اطلاعات، اجرا و استخراج نتایج از WEAP، نرم‌افزارهای Excel و WEAP با یکدیگر ارتباط داده شده‌اند. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق سدهای برق‌آبی رودخانه کارون بوده که شامل پنج سد گتوند، گذار لندر، کارون ۱، کارون ۳ و کارون ۴ است. برای صحت‌سنجی مدل، نتایج با مدل تهیه شده در محیط نرم‌افزار VENSIM مقایسه شده است که نتایج نشان داد مدل تهیه شده از دقت مناسبی برخوردار است. حافظ پرست مودت و همکاران (۱۳۸۷) به منظور 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 به کار 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 بهینه‌سازی هوش جمعی^۱ به منظور 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

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 آب-های 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

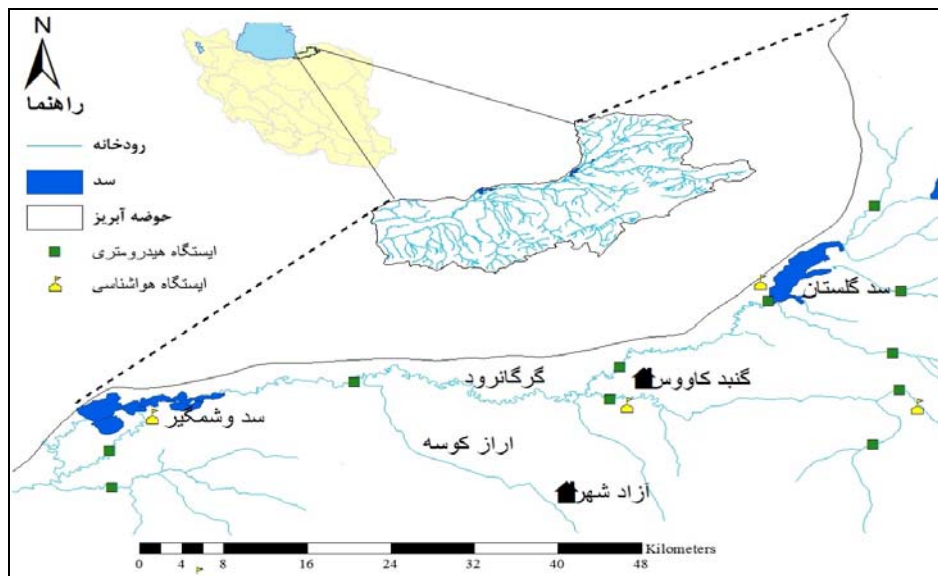
مدیریت آب در سیستم پشتیبانی تصمیم WEAP توسط تعیین اولویت و ترجیح در برداشت از منابع انجام می‌شود. سپس از این اولویت‌ها و ترجیحات و مقادیر تقاضا برای ساختن یکرودن بهینه‌سازی استفاده می‌گردد. انواع تقاضاها عبارت هستند از شهری، صنعتی، کشاورزی و الزامات درونی جریان رودخانه. در مدل WEAP برای این‌که مقادیر آبدی به مدل در طول زمان تغییر کند، دو راهبرد ارائه شده است. اگر پیش‌بینی‌های تفصیلی موجود باشد، می‌توان تغییرات دبی را مستقیماً وارد مدل کرد. روش سال آبی روش دیگری است که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته 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.

بیان کارایی 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 سیستم 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 مورد مطالعه 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 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 این-که 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 سرمایه-گذاران 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، آبی‌پروری، صنعت و محیط‌زیست در حوضه گرگان-رود است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت گرگان در شمال شرق ایران بین طول‌های جغرافیایی ۴۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه مورد مطالعه.

روند وضعیت آب و هوایی

به منظور 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 به عنوان نماینده کل منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید. گام بعدی در محاسبات مدل‌های اقلیمی ریزمقیاس کردن اطلاعات به دست آمده 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 (۱۳۹۰-۱۳۴۴) به عنوان دوره پایه و سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۱۵ دوره آتی در نظر گرفته شده 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 تولید شده توسط مدل و داده‌های واقعی (مشاهده شده) موجود در دوره پایه گردید. در نهایت با داشتن اطلاعات بارندگی سالانه به دست آمده 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 (سال تر) 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.

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 حقایق زیست‌محیطی مطابق با روش مونتانا (تنانت ۱۹۷۶) محاسبه شده است. جدول ۲ کمینه میزان رهاسازی آب از سد با توجه به شرایط حیات آبریزان به‌دست آمده به‌روش مونتانا را نشان می‌دهد.

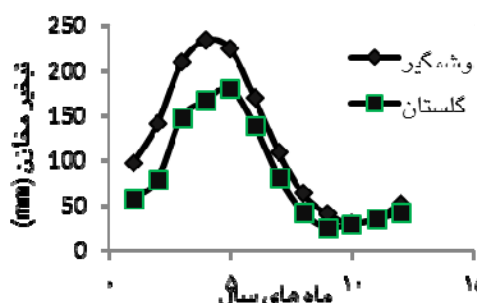
جدول ۲- روند وضعیت آب و هوایی در شرایط واقعی.

روند وضعیت آب و هوایی مرطوب (Wet)، نرمال (Norm) و خشک (Dry)												
۱۴۰۲	۱۴۰۱	۱۴۰۰	۱۳۹۹	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۲	۱۳۹۱	۱۳۹۰
نرمال	نرمال	خشک	تر	خشک	نرمال	خشک	خشک	نرمال	تر	تر	تر	نرمال
۱۴۱۵	۱۴۱۴	۱۴۱۳	۱۴۱۲	۱۴۱۱	۱۴۱۰	۱۴۰۹	۱۴۰۸	۱۴۰۷	۱۴۰۶	۱۴۰۵	۱۴۰۴	۱۴۰۳
تر	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال	خشک	نرمال	تر	خشک	تر	تر	نرمال	نرمال

جدول ۳- کمینه رهاسازی آب از سد.

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

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

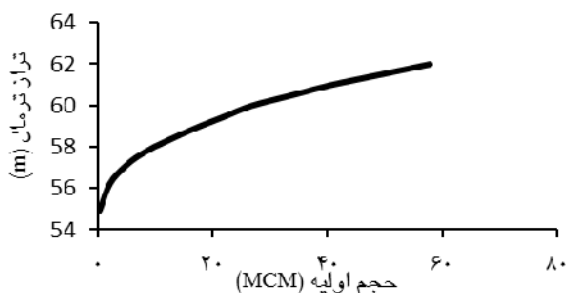
پارامترهای موردنیاز برای بخش کشاورزی شامل سطح فعالیت سرانه (مساحت زمین‌های زیر کشت در منطقه) و سرانه استفاده از آب به‌ازای هر هکتار

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 آبدی رودخانه به نیاز زیست‌محیطی تعلق دارد.

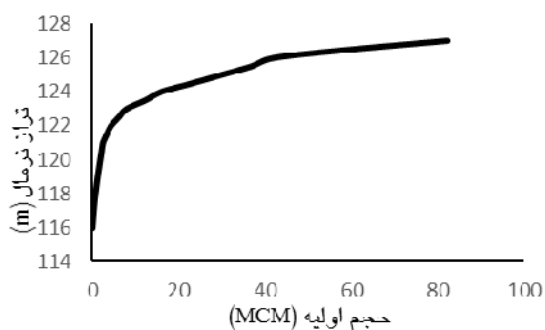
تبخیر

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

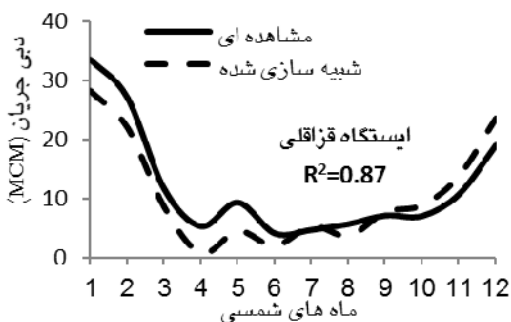
واقعی بسیار نزدیک بود و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) آن برابر ۳/۵ میلیون متر مکعب است.



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).

زمین کشاورزی (تهیه شده از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان) است. سطح زیر کشت برای سد گلستان، سد وشمگیر و بین رودخانه به ترتیب 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 به ترتیب ۵ و ۱۰ میلیون مترمکعب در سال است. شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب 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 به دست آورده شده و به عنوان داده‌های اندازه‌گیری شده وارد مدل گردید. برای به دست آوردن دبی‌های شبیه‌سازی شده یک ایستگاه اندازه‌گیری در مدل WEAP، به نام Streamflow Gauge بر روی رودخانه در نزدیکی ایستگاه قزاقلی قرار داده شد سپس در همین مکان دبی‌های شبیه‌سازی شده از مدل WEAP استخراج گردید. در این تحقیق مقدار ضریب تبیین (R^2) بین دبی‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برابر ۰/۸۷ به دست 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

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

ماه‌های سال آبی ۱۳۹۰-۱۳۹۱	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

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 جمعی، در نظر گرفته شده است.

سناریوهای تخصیص آب

سناریوی مرجع (S)

در این سناریو، شرایط آب و هوایی خشک‌سالی، ترسالی و نرمال طبق وضع موجود و روند آتی پیش‌بینی شده 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 ایجاد شده است. شرایط آب و هوایی و حجم مخازن سدها، مشابه

برنامه‌ریزی منابع آب، برنامه‌ریزی توسعه، ذخیره و تخصیص منابع محدود (درون‌بخشی یا بین-بخشی)، منطبق با موجودیت و تقاضا و با در نظر گرفتن مجموعه کاملی از اهداف ملی، محدودیت‌ها و علایق ذی‌نفعان می‌باشد. از این‌رو سناریوهایی در جهت برنامه‌ریزی منابع آب حوضه گرگان‌رود در نظر گرفته شده است. در ادامه به بررسی تأمین تقاضا در سناریوها که در آن طبق تعریف مدیریت جامع منابع آب، جنبه‌های مختلف برنامه‌ریزی منابع آب گنجانده شده است، پرداخته می‌شود. در برنامه‌ریزی که توسط شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان صورت گرفته، تخصیص آب به مصارف مختلف برای سال پایه مشخص شده 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 داده شده 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

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

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

این سناریو بر مبنای سناریو مرجع ایجاد شده 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.

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

سناریوی توسعه حاشیه سد و شمشگیر با در نظر گرفتن رسوب‌گذاری در مخازن (S1-2)

این سناریو بر مبنای سناریو (S1) ایجاد شده است. شرایط آب و هوایی و حجم مخازن سدها مشابه سناریو مرجع (S) در نظر گرفته شده است. در این سناریو، رسوب‌گذاری در مخازن تا افق زمانی ۱۴۰۰ در نظر گرفته شده است. رسوب‌گذاری در مخازن به صورت تجمعی در اواخر هر ماه به حجم مرده سد، به صورت ماهانه اضافه شده 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 و شمشگیر است.

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

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 و شمشگیر
S1-2	بر مبنای سناریو S1 - توسعه حاشیه سد و شمشگیر با در نظر گرفتن رسوب‌گذاری در مخازن
S1-3	بر مبنای سناریو S1- توسعه حاشیه سد و شمشگیر با در نظر گرفتن رسوب‌گذاری و کاهش آورد رسوب به مخازن
S2	بر مبنای سناریو مرجع- در نظر گرفتن رسوبات

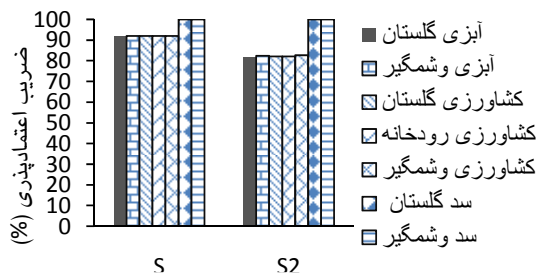
مقایسه سناریوها

تخطی کارایی سیستم از یک آستانه کارایی یا عدم توانایی سیستم در تأمین آب موردنیاز را،

شکست سیستم^۸ 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

شبیه‌سازی شده در ۱۰ سال آینده نیز به مدل-سازی اضافه شده، تعریف شده 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 اعتماد-پذیری سیستم به مقدار ۱۰ درصد کاهش پیدا می‌کند. این تغییرات فقط برای بخش‌های کشاورزی و آبرزی‌پروری رخ داده 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 به میزان ۲۲ میلیون متر مکعب، بیش‌تر از سناریو S2 است.



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

معیار اعتمادپذیری^۹ استفاده شده است (هاشیموتو و همکاران ۱۹۸۲).

به‌طور معمول 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 (کگلسن و رسرگ ۲۰۰۴، گنجی و همکاران ۱۳۸۵):

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

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 داده شده است. جدول ۴ نشان می‌دهد که شاخص اعتمادپذیری در همه سناریوها نسبت به سناریو مرجع کم‌تر است. دلیل این امر به دلیل 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 پرداخته شده است.

مقایسه سناریوهای S2 و S

سناریو S2 مطابق با سناریو S یعنی همان وضعیت، با این تفاوت که رسوب‌گذاری

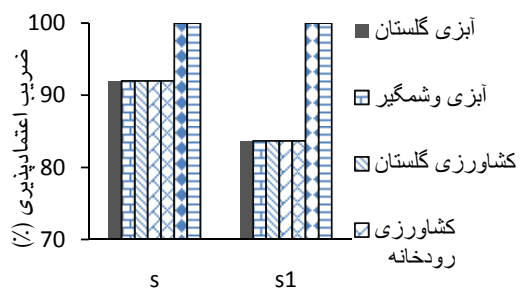
⁹ Reliability

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

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

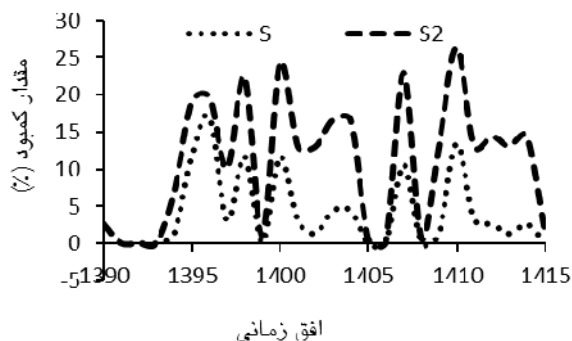
مقایسه سناریوهای S1 با S

در مقایسه سناریوهای S و S1 با توجه به این که هر دو سناریو در بخش نیازها، دارای تفاوت هستند می-توان پیش بینی 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 به جز بخش صنعت برابر ۹۱/۹۹ درصد و در بخش صنعت برابر ۱۰۰ درصد است. از آنجایی که اولویت تأمین در بخش صنعت بالاتر از نیازهای دیگر است، تأثیر اضافه شدن این نیاز به میزان ۱۰ میلیون متر مکعب در سال بر بخش های 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 بخش های متأثر اعتمادپذیری سیستم به میزان ۸/۳۵ درصد کاهش یابد که این میزان کاهش در شکل ۹ مشاهده می شود.

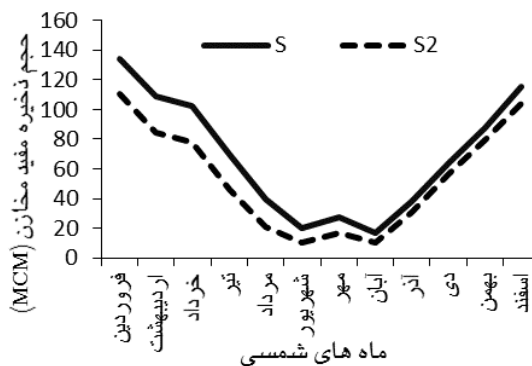


شکل ۹- مقایسه ضرایب اعتمادپذیری (درصد) سناریوهای S1 و S.

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

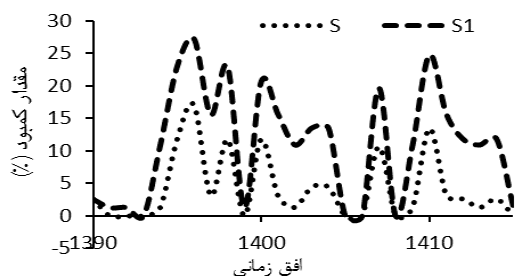


شکل ۷- درصد مقدار كمبود در سناریوهای S و S2.



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

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.

این بررسی نشان می‌دهد که اضافه نمودن نیاز صنعت برای منطقه به اندازه 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 به دلیل 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 به دست آمده 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

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

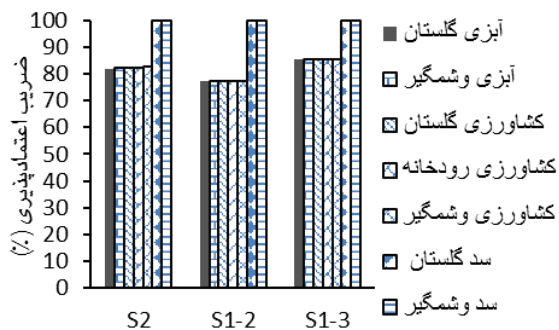
سناریو	ماه‌های سال												
	فروردین	اردیبهشت	مرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	مهر
S	۰/۹۳	۱/۳۶	۲/۴۹	۲/۷۲	۲/۴۱	۱/۱۹	۰/۳۵	۰/۲۸	۰/۰۶	۰/۲۴	۰/۳۷	۰/۵۸	۱۳/۰۰
S1	۰/۹۳	۱/۳۵	۲/۳۲	۲/۳۹	۱/۷۱	۰/۵۲	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۰۱	۰/۱۹	۰/۳۲	۰/۵۵	۱۰/۶۲
S1-2	۰/۹۷	۱/۳۶	۲/۴۲	۲/۵۶	۱/۹۱	۱/۲۲	۰/۶۷	۰/۳۶	۰/۲۰	۰/۳۴	۰/۴۸	۰/۶۸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

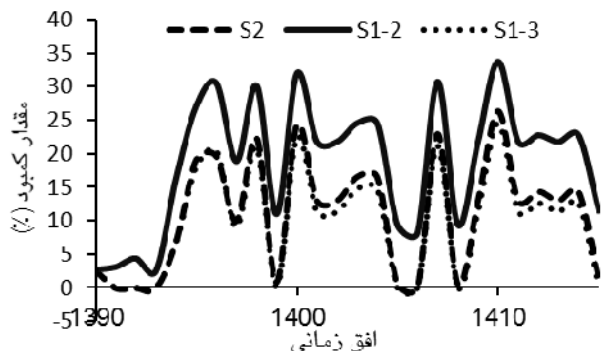
این امر اختصاص آب جهت توسعه اراضی کشاورزی و صنعت است.

حجم مخازن مطابق با شکل ۱۱، در سناریو S به میزان ۱۰ میلیون متر مکعب بیش‌تر از سناریو S1 است. دلیل



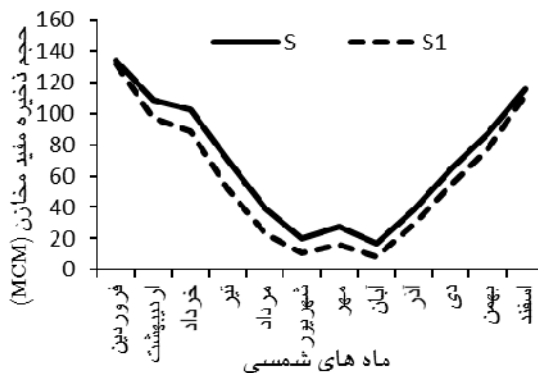
شکل ۱۲- مقایسه ضرایب اعتمادپذیری (درصد) سناریوهای S2، S1-2 و S1-3.

متوسط تلفات تبخیر در سناریوی S2 نسبت به سناریوهای S1-2 و S1-3 بیشتر است و این به دلیل وجود رسوب در مخازن است که باعث افزایش حجم تلفات تبخیر گردیده است. این افزایش حجم تلفات تبخیر در جداول ۷ و ۸ نشان داده شده است. بر اساس شکل ۱۳ درصد کمبود در سناریو S1-3 از دو سناریو S2 و S1-2 به دلیل برنامه ریزی 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 به میزان 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.

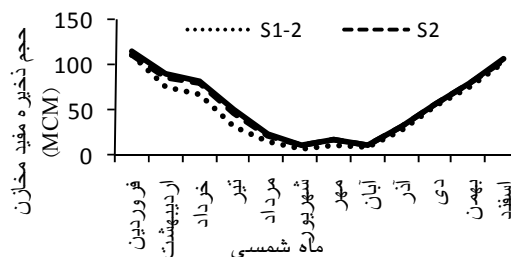


شکل ۱۱- حجم ذخیره مفید مخازن در سناریو S و S1 (میلیون متر مکعب).

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 انتخاب شده است. در این بین سناریو مدیریتی S1-3 با در نظر گرفتن بهبود وضعیت برنامه ریزی و افزایش اعتمادپذیری سیستم با دو سناریو ذکر شده، مقایسه می‌گردد. میزان اعتمادپذیری سیستم در سناریو S2، S1-2 و S1-3 به طور متوسط و به ترتیب برابر با ۸۲، ۷۷ و ۸۵ درصد است. اعتمادپذیری سیستم در سناریو S1-2 نسبت به سناریو S2 پایین تر است و این به دلیل اضافه شدن بخش مصارف صنعت و توسعه اراضی کشاورزی به برنامه ریزی تخصیص آب است. همان‌طور که شکل ۱۲ نشان می‌دهد، شاخص اعتماد-پذیری در سناریو مدیریتی S1-3 با افزایش راندمان آبیاری به میزان ۱۰ درصد و کاهش آورد رسوب به مخازن هر پنج سال به میزان 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 به دلیل کاهش آورد رسوب به مخازن است. نیاز زیست محیطی در مخازن سد گلستان و وشمگیر، در هر دو سناریو به دلیل داشتن اولویت ۱ در مدل تأمین می‌گردد.

رود می‌توان با پذیرفتن کاهش اعتمادپذیری سیستم به‌اندازه ۵٪، نیاز صنعت حاشیه سد و شمشیر 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 می‌دهد. 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.



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

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-

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 تا ۸، 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، جلد ۷، 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.

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 آب‌و خاک، جلد ۱۸، شماره ۴، صفحه‌های ۱ تا ۲۰.

یزدان پناه ط، خدانشناس 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 آب‌و خاک)، جلد ۲۲، شماره ۱، 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 Enschede, 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 Institute* 127: 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.