

بررسی بهره‌برداری از مخازن چاه نیمه تحت سناریوهای مدیریتی با استفاده از مدل WEAP

علی سرگلزی^۱، ام‌البنین محمدرضاپور^{۲*} و زهرا دهقان^۳

چکیده

ماهیت پیچیده مسائل آب، رشد سریع جمعیت، نیاز به آب برای مصارف مختلف و منابع محدود آب برای تأمین نیازها، نیازمند روش‌های جدیدی است که دیدگاه‌های فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی را در یک قالب به هم پیوسته گردآوری کند. برای مدیریت و برنامه‌ریزی بهینه منابع آب مدل WEAP به دلیل جامعیت و سیستم مدیریت یکپارچه منابع آب مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. هدف از انجام این پژوهش، تعیین مقدار آب تخصیص یافته برای بخش‌های کشاورزی، شرب و تالاب هامون با استفاده از مدل WEAP از مخازن چاه نیمه و برنامه‌ریزی‌های مدیریتی در شرایط توسعه و موجود در قالب سناریوهای مدیریتی است. در این راستا ابتدا مخازن شبیه‌سازی شده و سپس مدل برای شرایط پایه و سناریوهای وضعیت موجود و توسعه یافته اجرا گردید. نتایج مقایسه سناریو توسعه (D1) و سناریو مرجع (R) نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی جدید تخصیص منابع آبی دشت سیستان، با افزایش سطح زیرکشت به میزان ۵۸۵۰۰ هکتار و تخصیص نیاز زیست‌محیطی تالاب از مخازن به ترتیب با سطح اعتمادپذیری ۴۸/۷ درصد و ۶۲/۲ قابل تخصیص است. همچنین نتایج نشان داد که اضافه کردن نیاز زیست‌محیطی تالاب به برنامه‌ریزی نسبت به سناریوی وضع موجود با ثابت ماندن سطح اعتمادپذیری در تخصیص آب به سایر بخش‌ها، تهدیدی برای تأمین نیاز بخش‌های دیگر به وجود نمی‌آورد.

واژه‌های کلیدی: اعتمادپذیری، تالاب هامون، تخصیص منابع آب، مخازن چاه نیمه، مدل WEAP.

ارجاع: سرگلزی ع. محمدرضاپور ا. و دهقان ز. ۱۳۹۶. بررسی بهره‌برداری از مخازن چاه نیمه تحت سناریوهای مدیریتی با استفاده از مدل WEAP. مجله پژوهش آب ایران. ۲۴: ۲۱-۳۲.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده آب و خاک، گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل.

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل.

۳- دانشجو دکتری مهندسی آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه.

* نویسنده مسئول: mohammadrezapour@uoz.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۷/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۵/۱۳

مقدمه

بخشیده است. بنگاش و همکاران (۲۰۱۲) مدل‌سازی دو فرآیند هیدرولوژیکی آب‌های سطحی و زیرسطحی برای حوضه رودخانه فرانکلی واقع در حوضه مدیرانه با استفاده از یک مدل استراتژیک را انجام دادند. تخصیص منابع آب به بخش‌های مختلف ارزیابی و همچنین برای درک بهتر برنامه‌ریزی تخصیص از مدل ترکیبی GIS و MIKEBASIN استفاده شد. در این حوضه به علت در دسترس نبودن داده‌های رواناب از مدل بارش- رواناب 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 برای جبران کمبود آب، می‌بایست آب‌های تخصیص نیافته و مازاد دوره ترسالی برای دوره خشک‌سالی ذخیره شوند. یزدان پناه و همکاران (۱۳۸۶) برای 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 تحقیق حاکی از آن است که با تغییر الگوی کشت و یا کاهش سطح زیرکشت اراضی کشاورزی، می‌توان به شرایط تعادل آب زیرزمینی دست یافت. همچنین با استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری تحت فشار در صورت کاهش سطح زیرکشت اراضی کشاورزی، تا حدودی می‌توان ذخیره آب زیرزمینی را افزایش داد؛ ولی در صورتی که استفاده از سیستم‌های تحت فشار با افزایش سطح زیرکشت همراه باشد، افت آب زیرزمینی تشدید خواهد شد. همچنین تأثیر افزایش نرخ رشد جمعیت در سطح حوضه آبریز بر وضعیت منبع آب زیرزمینی بررسی شد و این نتیجه به دست آمد که نرخ رشد جمعیت تأثیر قابل ملاحظه‌ای در وضعیت میزان تقاضا و تغییرات افت سطح آب زیرزمینی در سطح حوضه آبریز ندارد. زهرایی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی به منظور بررسی آثار تغییر اقلیم بر منابع آب سیستم از مدل RIBASIM استفاده کردند. نتایج تحقیق حاکی از آن بود که تمامی سناریوهای تغییر اقلیم تعریف شده، موجب کاهش آورده‌های ورودی پیش‌بینی شده به چاه‌نیمه‌ها 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 به روش الگوریتم ژنتیک چندجمعیتی در نرم‌افزار MATLAB^۵

سابقه تحقیقاتی بهره‌برداری از منابع و تخصیص آن به بخش‌های مصرف، به اولین تلاش‌های انسان در مدیریت طبیعت برمی‌گردد که با محوریت و مرکزیت انسان از طبیعت، بهره‌برداری می‌شود (سیمونویک، ۱۹۹۲). از اوایل دهه ۱۹۸۰ میلادی و به موازات پیشرفت تکنولوژی در علوم گوناگون، مدل‌سازی در تخصیص منابع آب، مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. تخصیص آب عبارت است از ترکیب فعالیت‌هایی که مصرف‌کنندگان را قادر می‌کند تا آب را برای اهداف سودمند، مطابق با قوانین و اولویت‌های پذیرفته شده در منطقه به کار گیرند (یونیسکپ، 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^۳ و MODSIM^۴ اشاره کرد که مثال‌هایی از کاربرد آن‌ها را می‌توان در تحقیقات هاگان (۲۰۰۷)، لیمهوس و همکاران (۲۰۰۹)، چن و همکاران (۲۰۰۵) و شوربان و موسوی (۱۳۸۵) مشاهده کرد. از بین مدل‌های موجود، مدل WEAP به دلیل 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 شد. مدل WEAP توسط مرکز محیط‌زیست استکهلم^۴ توسعه داده شده 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 حقایقه‌ها را دارد. جنیفر و همکاران (۲۰۱۰) طی تحقیقی، با استفاده از نرم‌افزار WEAP به تخصیص آب به عنوان یک ابزار برنامه‌ریزی برای به حداقل رساندن درگیری‌های استفاده از آب در کنیا پرداختند. در این تحقیق WEAP روی داده‌های موجود برای سه زیرحوضه روی یک گام ماهانه پی‌ریزی شد. آن‌ها نشان دادند که اصلاح بهره‌وری آبیاری به میزان قابل توجهی تأمین آب مورد نیاز پایین‌دست را بهبود

1- Water Evaluation And Planning System (WEAP)

2- River Basin SIMulation (RIBASIM)

3- MODel SIMulator (MODSIM)

4- Stockholm Environmental Institute (SEI)

5- Mathematical Laboratory

شهرستان زابل در نزدیکی زهک احداث شدند. این سیستم مخزن منابع آب با ظرفیت ۶۳۰ میلیون مترمکعب آب با دارا بودن حجم مرده ۲۰۰ میلیون مترمکعب، ذخیره ۴۳۰ میلیون مترمکعب آب را بر عهده دارد (سامانه فرآیندهای محیطی، ۱۳۸۷). گودال‌های چاه‌نیمه ۱ و ۲ و ۳ به ترتیب حداکثر ۲۱، ۱۷ و ۹ کیلومتر مربع وسعت دارند (دانش‌کار آراسته، ۱۳۸۳). به منظور افزایش ظرفیت چاه‌نیمه‌های ۱، ۲ و ۳ سد چاه‌نیمه ۴ در کنار مخازن اولیه احداث شده است. این مخزن نیز که از نوع سدهای برون مسیر است، دارای ظرفیت ۸۲۰ میلیون مترمکعب، با حجم مرده ۲۲۰ میلیون مترمکعب است. به عبارتی مجموعه این مخازن می‌توانند سالانه ۱۴۴۰ میلیون مترمکعب آب را در خود ذخیره و در فصول خشک همان سال بخشی از آن را مورد استفاده قرار دهند. در مورد چاه‌نیمه ۴، حداکثر عمق ۱۷ متر و سطح در معرض تبخیر، ۹۴ کیلومترمربع است (سامانه فرآیندهای محیطی، ۱۳۸۷). دشت سیستان از چند منطقه اصلی آبیاری تشکیل شده است. مناطق شیب‌آب و پشت‌آب پایین و قسمتی از ناحیه زهک از مبدا رودخانه سیستان و از طریق سد انحرافی سیستان و مناطق شیب‌آب و پشت‌آب بالا از رودخانه سیستان و از طریق سد انحرافی زهک و سرانجام مناطق آذر، میلک، بخش باقیمانده، زهک، یانکنگی و گلمبر، نو احداث گلمبر و شیردل مشروب می‌شوند (مهندسی مشاور تهران سحاب، ۱۳۷۱).

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 مقدار تقاضا برای ساختن یک روند بهینه‌سازی استفاده می‌گردد. اساس شبیه‌سازی رفتار و برنامه‌ریزی مدیریتی در WEAP بر پایه معادلات بیلان آبی استوار است که با استفاده از یک بهینه‌سازی خطی سعی در حداکثر کردن درصد تأمین نیازها تعریف شده در سامانه‌های آبی مورد مطالعه دارد. برای تخصیص آب از منابع مختلف به نیازهای تعریف شده در حوضه بر اساس اولویت (P)، در هر گام زمانی از بهینه‌ساز خطی (معادله (۱)) با تابع هدف بیشینه‌سازی (Max Z) درصد پوشش نیاز (C) در هر گره استفاده می‌شود (یاتس و همکاران، ۲۰۰۵).

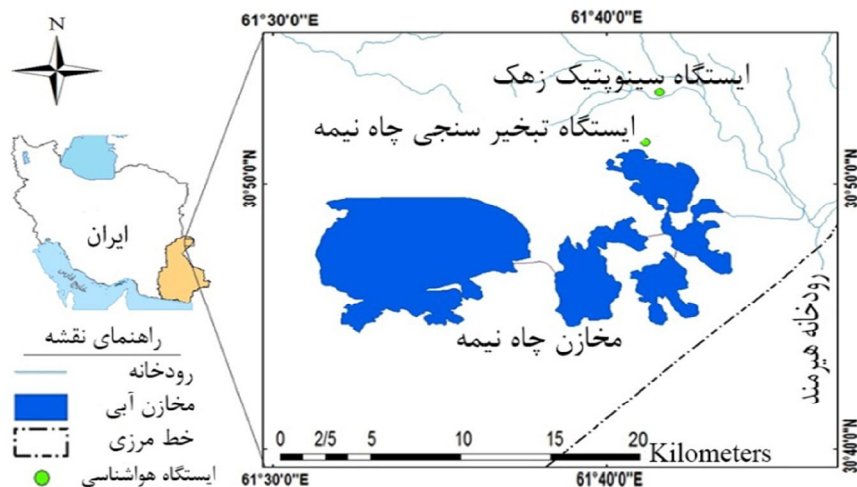
انجام دادند و میزان بهینه آب خروجی از هر یک از مخازن جهت تأمین نیازهای کشاورزی در ماه‌های مختلف سال را به دست آوردند. دهقان و همکاران (۱۳۹۲) به تعیین مقدار آب تخصیص یافته و بررسی تأثیر تغییرات آب و هوایی (پرآبی و کم‌آبی) روی میزان تخصیص آب برای بخش صنعت با استفاده از مدل WEAP از سدهای گلستان و وشمگیر پرداختند. نتایج نشان داد در برنامه‌ریزی جدید تخصیص منابع آب حوضه گرگانرود می‌توان با پذیرفتن کاهش اعتمادپذیری سیستم به اندازه ۵٪، نیاز صنعت حاشیه سد وشمگیر به مقدار ۹/۵ میلیون مترمکعب را تأمین کرد. در شرایط آب و هوایی خشک، وضعیت تخصیص آب با کاهش اعتمادپذیری ۶٪ نسبت به شرایط آب و هوایی مرطوب در منطقه مواجه می‌شود. با توجه به خشک سالی‌های اخیر در بخش سیستان و ابتکار عمل در بالادست، رودخانه هیرمند در داخل افغانستان است، مخازن چاه نیمه نیازمند مدیریت جامع و توجه خاص دارد که تاکنون در مطالعات و برنامه‌ریزی تخصیص منابع آب در شرایط مختلف خشک‌سالی و نرمال و پرآبی برنامه‌های مدون در نظر گرفته نشده است. برای برنامه‌ریزی دقیق تخصیص منابع آب بخش‌های مختلف، در منطقه سیستان انجام این تحقیق از ضرورت ویژه‌ای برخوردار است. هدف از این تحقیق، تعیین مقدار آب تخصیص یافته به بخش‌های مختلف کشاورزی، شرب، آبی‌پروری و محیط‌زیست از مخازن چهارگانه چاه نیمه است.

مواد و روش‌ها

مخازن چاه‌نیمه‌ها در شرق ایران و شمال شرقی استان سیستان و بلوچستان بین طول‌های جغرافیایی ۶۱ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۴۴ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۰ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی واقع شده است (شکل ۱). چاه‌نیمه گودال‌های طبیعی هستند که بخشی از آن‌ها آب‌های مازاد مصرف رودخانه هیرمند را در فصول پرآب زمستان و بهار جمع‌آوری می‌کند و در فصول کم آب و پرمصرف، برای تأمین آب شرب شهرهای زاهدان، زابل و سایر نواحی مسکونی سیستان و آب آبیاری بیش از ۴۵ هزار هکتار اراضی کشاورزی به منطقه ارائه می‌دهند. چاه‌نیمه‌های ۱، ۲ و ۳ در سال ۱۳۵۲ به منظور کنترل آب هیرمند، در

سال آبی، روش دیگری است که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. برای استفاده از مدل WEAP لازم است که یک سال به عنوان سال پایه انتخاب شود. منظور از سال پایه سالی است که دارای اطلاعات و آمار کافی و با دقت لازم باشد. در این تحقیق سال ۱۳۶۰ به عنوان سال پایه انتخاب شد. مدل با استفاده از اطلاعات سال پایه به بررسی تأثیر سناریوهای مدیریتی مختلف برای یک دوره آماری بلند مدت سی ساله (۱۳۶۰ تا ۱۳۹۱) می‌پردازد.

(۱) $Max Z = C_p$
داده‌های مورد نیاز مدل به دو قسمت داده‌های منابع و مصارف تقسیم‌بندی می‌شود. در قسمت داده‌های منابع می‌توان به آوردهای رودخانه‌ها و اطلاعات مخازن ذخیره اشاره کرد و داده‌های مصارف به انواع تقاضاها تفکیک می‌شود که اعم از شهری، صنعتی، کشاورزی و الزامات درونی جریان رودخانه است. در مدل WEAP برای اینکه مقدار آبدهی 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



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی چاه‌نیمه‌های سیستان

مدیریتی صورت گرفته، تقسیم‌بندی سال‌ها بر اساس جدول ۱ انجام می‌شود (طرح بهره‌برداری بهینه از آب رودخانه هیرمند، تهران سحاب (۱۳۷۱)).

مواد و روش‌ها

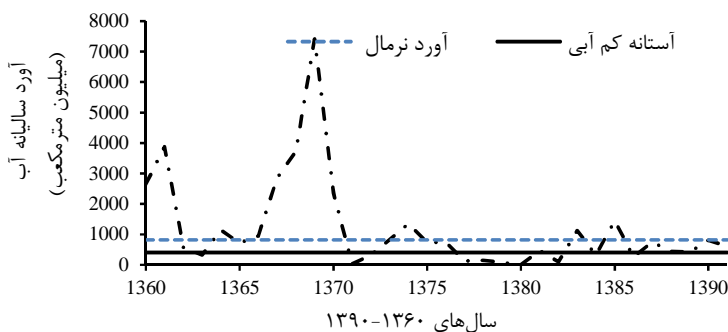
روند وضعیت آبی منطقه سیستان با توجه به آورد رودخانه سیستان
برای بررسی اثر سال‌های کم‌آبی، تعیین روند آب و هوایی منطقه مطالعاتی ضرورت دارد؛ از این‌رو، طبق مطالعات

جدول ۱- تقسیم‌بندی وضعیت دوره زمانی مورد مطالعه بر اساس جریان رودخانه سیستان

| نوع سال | میزان بده رودخانه سیستان |
|---------|--|
| کم‌آبی | کمتر از ۵۰٪ دبی مصوب پروتکل (۰-۴۱۰ میلیون مترمکعب در سال) |
| عادی | بیشتر از ۵۰٪ دبی مصوب پروتکل (۴۱۰-۸۲۰ میلیون مترمکعب در سال) |
| پرآبی | بیش از دبی مصوب پروتکل (۸۱۰- به بالا میلیون مترمکعب در سال) |

با توجه به توضیح فوق دسته‌بندی سال‌های ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۱ به صورت جدول ۲ به دست آمده است.

آورد سالانه رودخانه سیستان در دوره زمانی مورد مطالعه در شکل ۲ مشاهده می‌شود.



شکل ۲- آورد سالانه رودخانه سیستان

جدول ۲- روند وضعیت آبدهی رودخانه سیستان سال‌های ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۱

| سال | وضعیت آبدهی |
|------|-------------|
| ۱۳۶۰ | عالی |
| ۱۳۶۱ | عالی |
| ۱۳۶۲ | عالی |
| ۱۳۶۳ | عالی |
| ۱۳۶۴ | عالی |
| ۱۳۶۵ | عالی |
| ۱۳۶۶ | عالی |
| ۱۳۶۷ | عالی |
| ۱۳۶۸ | عالی |
| ۱۳۶۹ | عالی |
| ۱۳۷۰ | عالی |
| ۱۳۷۱ | عالی |
| ۱۳۷۲ | عالی |
| ۱۳۷۳ | عالی |
| ۱۳۷۴ | عالی |
| ۱۳۷۵ | عالی |
| ۱۳۷۶ | عالی |
| ۱۳۷۷ | عالی |
| ۱۳۷۸ | عالی |
| ۱۳۷۹ | عالی |
| ۱۳۸۰ | عالی |
| ۱۳۸۱ | عالی |
| ۱۳۸۲ | عالی |
| ۱۳۸۳ | عالی |
| ۱۳۸۴ | عالی |
| ۱۳۸۵ | عالی |
| ۱۳۸۶ | عالی |
| ۱۳۸۷ | عالی |
| ۱۳۸۸ | عالی |
| ۱۳۸۹ | عالی |
| ۱۳۹۰ | عالی |
| ۱۳۹۱ | عالی |

نیاز زیست‌محیطی تالاب هامون (۱۹۷۶) محاسبه شده است. جدول ۳ حداقل میزان رهاسازی آب از سد با توجه به شرایط حیات آبریان به دست آمده به روش مونتانا را نشان می‌دهد. حداقل نیاز زیستی رودخانه سیستان که برای زنده ماندن تالاب هامون ضروری است ۱۰ درصد آورد رودخانه قبل از احداث سد و مخازن است.

نیاز زیست‌محیطی تالاب هامون

یکی از مؤلفه‌های بیلان آب سیستم مطالعاتی، نیاز زیست‌محیطی است. رهاسازی آب از سد به منظور پایداری، احیا، بهبود اکوسیستم‌های آبی پایین‌دست، حفظ کیفیت و خودپالایی رودخانه، ضروری است. در این مطالعه حقایق زیست‌محیطی مطابق با روش مونتانا (تانت)

جدول ۳- حداقل رهاسازی آب از سد

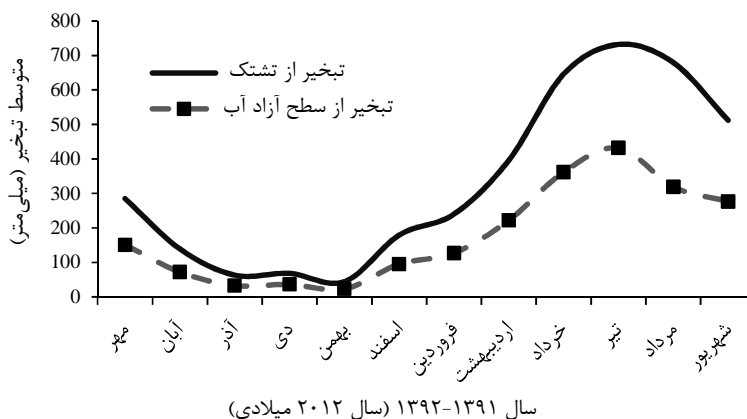
| درصدهای پیشنهادی از میانگین آورد سالانه رودخانه | |
|---|---------------------|
| بهار - تابستان | پاییز - زمستان |
| ۶۰ | ۴۰ |
| ۵۰ | ۳۰ |
| ۴۰ | ۲۰ |
| ۳۰ | ۱۰ |
| ۱۰ | ۱۰ |
| ۰-۱۰ | ۰-۱۰ |
| | بسیار عالی |
| | عالی |
| | خوب |
| | عادلانه (قابل قبول) |
| | ضعیف |
| | تخریب شدید |

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

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 ۳ متوسط تبخیر ماهانه سال ۲۰۱۲ را در ایستگاه‌های مورد نظر نشان می‌دهد.

تبخیر یکی از داده‌های ورودی به مدل، تبخیر از سطح مخزن است که با توجه به منحنی حجم-سطح-ارتفاع در

تبخیر



شکل ۳- متوسط تبخیر از سطح آزاد آب منطقه چاه‌نیمه‌های سیستان

محاسبه با توزیع ماهانه آن مطابق جدول ۴ و شکل ۴ به دست آمده است.

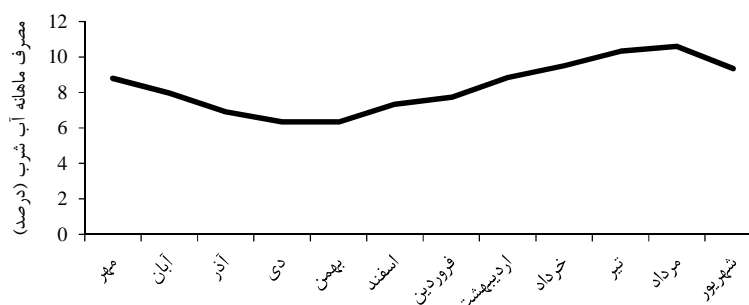
میزان ورودی آب به منطقه سیستان از طریق رودخانه سیستان با ملاحظه شکل ۲ دارای تغییرات زیادی در سال‌های گذشته به علت وجود سیلاب‌ها و خشک‌سالی‌های متعدد است.

تقاضای شرب

یکی از اهداف برنامه‌ریزی، تخصیص به موقع و کامل نیاز شرب در منطقه است. از این رو نیاز شرب در سه منطقه شهر زابل، روستاهای سیستان و ۳۰ درصد آب مورد نیاز شهرستان زاهدان، براساس تابع جمعیت نمایی با نرخ ۳ درصد (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰) محاسبه شد. نتایج این

جدول ۴- مصارف بخش شرب در سیستان و جمعیت سال ۱۳۹۰ شهرهای زابل، زاهدان و روستاهای سیستان

| منطقه | جمعیت در سال ۱۳۹۰ | نرخ رشد سالانه | سراجه مصرف هر نفر (متر مکعب در سال) |
|-----------------|-------------------|----------------|-------------------------------------|
| شهر زابل | ۱۷۳۴۶۸ | | ۷۴/۵ |
| روستاهای سیستان | ۲۲۶۳۴۳ | ۳ درصد | ۷۳/۵ |
| شهر زاهدان | ۳۰٪ جمعیت (۶۰۰۰۰) | | ۷۴/۵ |



شکل ۴- توزیع سالانه مصرف آب شرب در منطقه سیستان

برای هر یک از محصولات کشاورزی کشت شده در منطقه بر حسب میلیون متر مکعب در سال برای وضع موجود مطابق جدول ۵ و برای برنامه توسعه مطابق جدول ۶ به دست آمد.

تقاضای کشاورزی

پارامترهای مورد نیاز برای بخش کشاورزی شامل سطح زیرکشت سالانه و نرخ سالانه مصرف آب به ازای هر هکتار است. طبق الگوی کشت به کار رفته در منطقه، نیاز آبی

جدول ۵- سطح زیرکشت محصولات کشاورزی به همراه نیاز آبی سالانه (سناریوهای R, R2, D, D1)

| نوع کشت | سطح زیرکشت (هکتار) | فروردین | اردیبهشت | خرداد | تیر | مرداد | مهر | آبان | آذر | دی | بهمن | اسفند | مجموع |
|------------------|--------------------|---------|----------|-------|------|-------|------|------|-----|-----|------|-------|-------|
| گندم و جو | ۱۵۴۵۰ | ۲۱/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۵۲/۷ |
| حبوبات | ۱۵۰۰ | ۱/۰ | ۲/۲ | ۱/۷ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۵/۴ |
| چغندر قند | ۶۸۰۰ | ۶/۷ | ۱۱/۰ | ۱۵/۷ | ۲۰/۱ | ۲۲/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۷۸/۷ |
| آفتابگردان | ۷۵۰۰ | ۱۲/۱ | ۲۰/۷ | ۸/۸ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۴۷/۹ |
| علوفه | ۱۰۸۰۰ | ۱۳/۳ | ۱۸/۹ | ۲۸/۷ | ۳۰/۸ | ۲۸/۷ | ۱۲/۴ | ۲۸/۷ | ۲/۷ | ۱/۵ | ۱/۲ | ۱/۷ | ۱۵۰/۸ |
| باغ | ۷۰۰ | ۰/۷ | ۱/۲ | ۱/۵ | ۱/۸ | ۱/۳ | ۰/۸ | ۰/۵ | ۰/۲ | ۰/۱ | ۰/۱ | ۰/۲ | ۸/۸ |
| هندوانه | ۷۵۰ | ۰/۶ | ۱/۲ | ۱/۷ | ۱/۶ | ۰/۴ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۵/۹ |
| سبزیجات تابستانی | ۷۵۰ | ۰/۸ | ۱/۵ | ۲/۰ | ۲/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۶/۸ |
| سبزیجات زمستانی | ۷۵۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۳/۶ |
| جمع | ۴۵۰۰۰ | ۵۶/۴ | ۵۶/۷ | ۶۰/۲ | ۵۶/۴ | ۵۲/۶ | ۱۳/۲ | ۵۱/۸ | ۹/۰ | ۶/۳ | ۶/۱ | ۱۰/۴ | ۳۶۰/۵ |

جدول ۶- سطح زیرکشت و نیاز آبی سالانه محصولات کشاورزی در برنامه توسعه (سناریوهای D, D1)

| نوع کشت | سطح زیرکشت (هکتار) | فروردین | اردیبهشت | خرداد | تیر | مرداد | مهر | آبان | آذر | دی | بهمن | اسفند | مجموع |
|---------|--------------------|---------|----------|-------|-----|-------|-----|------|-----|-----|------|-------|-------|
| گندم جو | ۱۳۵۰۰ | ۱۸/۵ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۴۶/۱ |

سناریوهای تخصیص آب

سناریو مرجع (R)

مطابق با سناریوی مرجع است. میزان سطح زیرکشت محصولات کشاورزی با توجه به الگوی کشت مناسب منطقه و شرایط کم‌آبی، کاهش یافته است. نیاز شرب بدون تغییر است. هدف از ایجاد این سناریو بررسی وضعیت تامین آب کشاورزی و دیگر نیازها در الگوی کشت‌های متفاوت است.

در سناریو مرجع شرایط هیدرولوژیکی منطقه، شرایط موجود بوده و فقط از توانایی آبدی مخازن چاه‌نیمه‌های ۱، ۲، ۳ در برنامه‌ریزی منابع آب استفاده می‌شود. مناطق زیرکشت محصولات کشاورزی مطابق با جدول ۵ است. آب شرب مناطق مختلف مطابق با پروتکل هیرمند (حقابه ایران سالانه ۸۲۰ میلیون مترمکعب) تامین می‌شود. هدف از ایجاد این سناریو، ارزیابی و شبیه‌سازی آب تخصیص یافته به بخش‌های مختلف است. در این سناریو، هیچ برنامه‌ای برای تخصیص آب زیست‌محیطی تالاب هامون، از چاه‌نیمه‌ها در نظر گرفته نشده است.

سناریوی مرجع با در نظر گرفتن نیاز زیست‌محیطی

تالاب (R2)

این سناریو بر مبنای سناریوی مرجع (R) ایجاد شده است. شرایط آب و هوایی و حجم مخازن چاه‌نیمه‌ها مطابق سناریوی مرجع (R) است. در این سناریو در صورتی که آب سایر بخش‌ها (کشاورزی و شرب) تامین شده و آورد مناسبی از رودخانه هیرمند وجود داشته باشد، نیاز تالاب هامون از مخازن چاه‌نیمه در نظر گرفته شده است.

سناریوی (R1)

این سناریو بر مبنای سناریوی مرجع (R) ایجاد شده است. در این سناریو شرایط هیدرولوژیکی و وضعیت مخازن

سناریوی توسعه (D)

آستانه شکست به صورت نیاز آبی پایین‌دست تعریف می‌شود؛ ولی این موضوع قراردادی است و می‌توان آن را تغییر داد. خروجی‌های سیستم به دو مجموعه مقدار رضایت‌بخش (S) و مقدار نارضایت‌بخش (F)، تقسیم می‌شوند. اعتمادپذیری سیستم (α_Q) یا فراوانی نسبی عدم شکست، یعنی احتمال آن که سیستم در حالت رضایت‌بخش است و مقدار آن براساس رابطه زیر محاسبه می‌شود (کجلسن و رسجرگ، ۲۰۰۴):

$$\alpha_Q = \frac{\sum_{t=1}^T R_t}{\sum_{t=1}^T D_t} \quad (2)$$

در اینجا افق برنامه‌ریزی شامل T گام زمانی است. R_t حداقل مقدار آب تخصیص داده شده در گام زمانی t و D_t مقدار نیاز در گام زمانی t است (گنجی و همکاران، ۱۳۸۵).

نتایج و بحث**اعتمادپذیری سیستم**

این شاخص با محاسبه تعداد شکست در هر نیاز در طول دوره شبیه‌سازی تعیین می‌شود. ارزیابی این شاخص برای پنج سناریو مختلف در جدول ۷ نشان داده شده است.

در این سناریو با تکیه بر جریان طبیعی رودخانه، اضافه شدن مخزن چاه‌نیمه شماره ۴ به مخازن قبلی و نیز سطح زیرکشت محصولات کشاورزی به میزان ۱۳۵۰۰ هکتار افزایش یافته است. میزان آب تخصیص یافته به بخش‌های کشاورزی و شرب بدون تغییر است.

سناریو زیست‌محیطی در شرایط توسعه (D1)

این سناریو بر مبنای سناریو توسعه D ایجاد شده است. در این سناریو، کلیه شرایط هیدرولوژیکی و مخازن مطابق با سناریوی توسعه در نظر گرفته شده و آب مورد نیاز از محل مخازن چهارگانه بررسی شده است.

مقایسه سناریوها

تخطی کارایی سیستم از یک آستانه کارایی یا عدم توانایی سیستم در تأمین آب مورد نیاز را، شکست سیستم می‌گویند. کارایی سیستم و یا شکست را از چند روش می‌توان بررسی کرد که در این پژوهش برای مقایسه سناریوها با یکدیگر از معیار اعتمادپذیری استفاده شده است (هاشیموتو و همکاران، ۱۹۸۲). به طور معمول

جدول ۷- میزان شاخص اعتمادپذیری در نیازهای مختلف در سناریوهای R, R1, R2, D و D1 (کل دوره)

| مصارف | | | | | | |
|--------|--------------|---------------------|----------|------------|----------------------|-------------|
| سناریو | کشاورزی فعلی | شرب روستاهای سیستان | شرب زایل | شرب زاهدان | کشاورزی برنامه توسعه | تالاب هامون |
| R | ۶۲/۵ | ۹۰/۶ | ۹۰/۶ | ۹۰/۶ | * | * |
| R1 | ۸۶/۷ | ۹۶/۹ | ۹۶/۹ | ۹۶/۹ | * | * |
| R2 | ۶۲/۵ | ۹۰/۶ | ۹۰/۶ | ۹۰/۶ | * | ۴۱/۴ |
| D | ۶۲/۲ | ۸۹/۱ | ۸۹/۱ | ۸۹/۱ | ۹۸/۷ | * |
| D1 | ۶۲/۲ | ۸۹/۱ | ۸۹/۱ | ۸۹/۱ | ۹۸/۷ | ۴۸/۷ |

سناریو R1 با R

هدف از مقایسه این دو سناریو، بررسی ضریب اعتمادپذیری بخش‌های مختلف در شرایط کاهش سطح زیرکشت اراضی کشاورزی (حذف محصولات پرمصرف) نسبت به شرایط موجود به خصوص در شرایط کم‌آبی است. در این سناریو با کاهش سطح زیرکشت محصولات کشاورزی از ۴۵۰۰۰ هکتار به ۲۹۲۰۰ هکتار (با کم کردن سطح زیرکشت محصولات پرمصرف و حذف گیاهان حبوبات، چغندرقد و آفتابگردان) برای رسیدن درصد

تأمین نیاز این بخش به بالای سطح اطمینان ۸۵ درصد، میزان آب تخصیص یافته به این بخش نیز با تغییر مواجه شد.

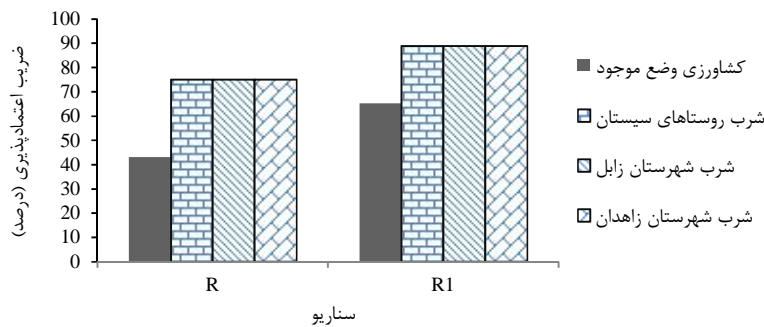
ضریب اعتمادپذیری در جدول ۷ برای کل دوره و جدول ۸ برای یک دوره کم‌آبی بین سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۲ برای دو سناریو R1 و R نشان داده شده است. با مقایسه سناریوهای R و R1، مطابق شکل ۵ نشان می‌دهد میزان شاخص اعتمادپذیری در بخش شرب از ۹۰/۶ درصد به ۹۶/۹ درصد می‌رسد. این افزایش به دلیل کاهش سطح

افزایش چشم‌گیری روبه‌رو شده است؛ به طوری که در بخش کشاورزی مطابق جدول ۷ این شاخص از ۶۲/۵ درصد به ۸۶/۷ درصد افزایش یافته که از سطح اطمینان قابل قبول بالای ۸۵ درصد برخوردار است. حذف سطح کشت اراضی با نیاز آبی بالا در سناریو R1 این امر را سبب شده است.

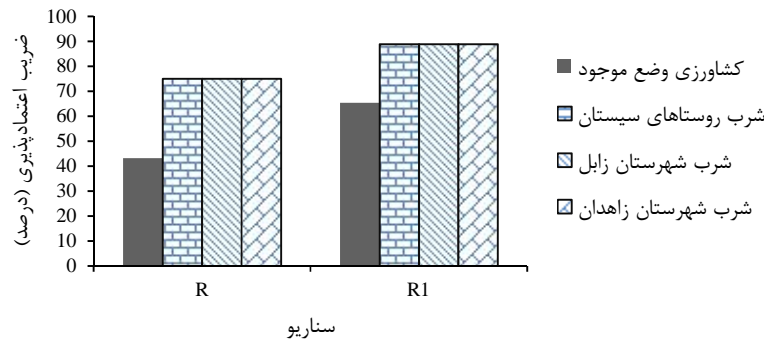
زیرکشت و به تبع کاهش نیاز کشاورزی است که باعث افزایش بیشینه درصد پوشش تأمین آب در نیاز آب شرب می‌شود. همچنین این شاخص در دوره کم‌آبی با تمایز بیشتر مطابق با شکل ۶، در سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۲ با افزایش ۱۴ درصدی از ۷۵ درصد به ۸۸/۹ درصد می‌رسد. طبق شکل ۵ اعتمادپذیری سیستم در همه بخش‌ها، با

جدول ۸- میزان شاخص اعتمادپذیری در نیازهای مختلف در سناریوهای R و R1 (دوره کم‌آبی)

| مصارف | | | | | | |
|--------|--------------|---------------------|----------|------------|----------------------|-------------|
| سناریو | کشاورزی فعلی | شرب روستاهای سیستان | شرب زایل | شرب زاهدان | کشاورزی برنامه توسعه | تالاب هامون |
| R | ۴۳/۱ | ۷۵/۰ | ۷۵/۰ | ۷۵/۰ | * | * |
| R1 | ۶۵/۳ | ۸۸/۹ | ۸۸/۹ | ۸۸/۹ | * | * |



شکل ۵- ضریب اعتمادپذیری (کل دوره) - سناریوهای R و R1

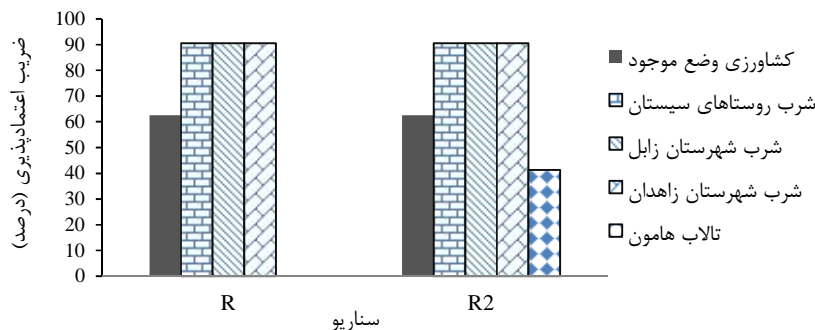


شکل ۶- ضریب اعتمادپذیری (دوره کم‌آبی ۱۳۷۷-۱۳۸۲) - سناریوی R و R1

سناریو R ثابت مانده است. این در حالی است که حجم آب در نظر گرفته شده برای نیاز زیست‌محیطی تالاب هامون از مخزن چاه نیمه‌ها با توزیع ماهانه متناسب با آورد رودخانه سیستان قابل تخصیص است و تهدیدی برای موفقیت سیستم در تأمین نیاز سایر بخش‌های در منطقه محسوب نمی‌شود.

مقایسه سناریو R2 با R

در این مقایسه مطابق با شکل ۷ با توجه به این که در سناریو R2 نیاز زیست‌محیطی تالاب هامون به میزان ۱۰ درصد آورد ماهانه ورودی مخازن چاه‌نیمه‌ها در نظر گرفته شده است، نتایج مدل در جدول ۷ نشان می‌دهد که ضریب اعتمادپذیری سیستم در سایر بخش‌ها نسبت به

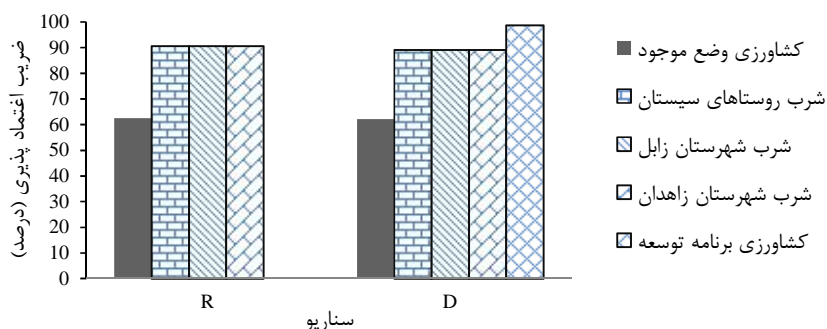


شکل ۷- مقایسه ضریب اعتمادپذیری (کل دوره) - سناریوی R و R2

منطقه بررسی می‌شود. مطابق جدول ۷ در سناریو D با چشم‌پوشی از کاهش تأثیر شاخص اعتمادپذیری در بخش‌های کشاورزی و شرب، کشاورزی برنامه توسعه نسبت به وضع موجود با شاخص اعتمادپذیری بالای ۹۸ درصد قابل تأمین خواهد بود.

مقایسه سناریو D با R

در این مقایسه مطابق با شکل ۸ اثر افزایش سطح زیرکشت اراضی کشاورزی از ۴۵۰۰۰ هکتار در وضع موجود به ۵۸۵۰۰ هکتار در برنامه توسعه و اضافه شدن مخزن چاه‌نیمه چهارم به سیستم بهره‌برداری منابع آب

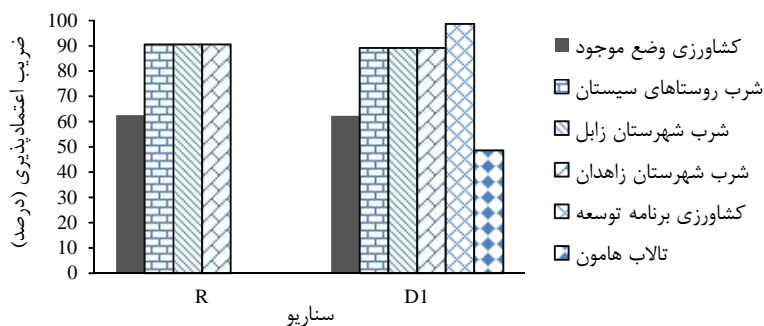


شکل ۸- ضریب اعتمادپذیری مصارف مختلف (کل دوره) - سناریوی R و D

است. هدف از مقایسه این دو سناریو ارزیابی و بررسی تأثیر اضافه شدن چاه‌نیمه چهارم به سیستم بهره‌برداری منابع آبی و نیز توسعه کشاورزی منطقه و در نظر گرفتن نیاز زیست‌محیطی تالاب هامون در منطقه است. نتایج حاصل از این مقایسه در شکل ۹ نشان داده شده است.

مقایسه سناریو D1 با R

در این بخش وضعیت تأمین حقایبه مورد نیاز برای بخش‌های کشاورزی، شرب و تالاب هامون در دو حالت وضع موجود و برنامه توسعه بررسی شد. نتایج شاخص اعتمادپذیری این دو سناریو در جدول ۷ قابل مشاهده

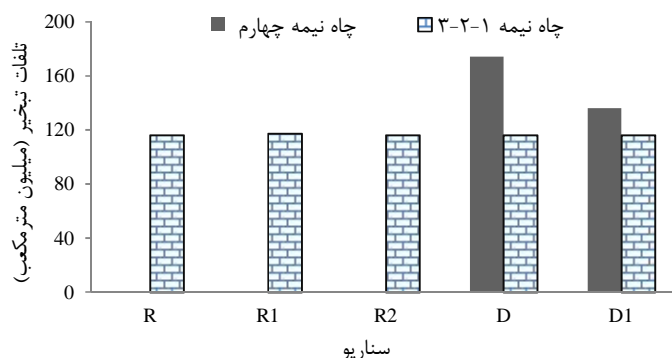


شکل ۹- ضریب اعتمادپذیری مصارف مختلف (کل دوره) - سناریوی R و D1

تلفات تبخیر مخازن

تلفات تبخیر مطابق شکل ۱۰ در مخازن ۱، ۲ و ۳ کمتر از مخزن ۴ است و این امر به علت توپوگرافی مخازن ۱، ۲، ۳ و نیز نسبت عمق به سطح در برابر مخزن ۴ است. ذخیره‌سازی آب مازاد در مخازن باعث افزایش سطح آب در معرض تبخیر می‌شود که این امر در سناریو D نسبت

به سناریوی D1 مشخص می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تلفات تبخیر در سناریو D1 نسبت به سناریو D در چاه نیمه ۴ به اندازه ۵۰ میلیون مترمکعب در سال کاهش می‌یابد. این نتیجه نیز بر رهاسازی آب برای نیاز زیست‌محیطی تالاب هامون تأکید دارد.



شکل ۱۰- میزان تلفات تبخیر در مخازن چاه‌نیمه ۱، ۲، ۳ و ۴ برای سناریوهای مختلف

نتیجه‌گیری

طبق مقایسه سناریوهای R2 با R، در نظر گرفتن حقایق به میزان ۱۰ درصد ورودی آب چاه‌نیمه‌ها برای تالاب هامون تهدیدی برای تخصیص آب به سایر نیازها نخواهد بود. تحت سناریو R که بیانگر وضعیت موجود منابع آب منطقه است در بخش کشاورزی در ۸۵ درصد سال‌ها ۵۷/۵ درصد نیازها و در بخش شرب در ۸۵ درصد سال‌ها ۸۷/۳ درصد نیازها تأمین شده است. علت درصد بالای تأمین نیازها در بخش شرب اولویت برتر این بخش را نسبت به بخش کشاورزی نشان می‌دهد. در سناریو D که بیانگر وضعیت توسعه مدیریت منابع آبی منطقه است، ضمن حفظ سطح اراضی زیرکشت در شرایط موجود، مقدار ۱۳۵۰۰ هکتار قابل اضافه شدن به اراضی کشاورزی است که در ۸۵ درصد سال‌ها ۸۰ درصد نیازها را تأمین می‌کند. با بررسی سناریوها و نتایج به دست آمده سناریو D1 بیان‌کننده شرایط توسعه با افزایش نیازها در بخش کشاورزی و تالاب هامون نسبت به سایر سناریوها از سطح اعتمادپذیری بالاتری برخوردار است. همچنین با اضافه شدن نیاز زیست‌محیطی تالاب هامون به برنامه‌ریزی منابع آبی منطقه، تلفات تبخیر از مخزن چاه‌نیمه چهارم کاهش چشم‌گیری یافته است. در نتیجه‌گیری کلی می‌توان بیان

کرد که اضافه شدن چاه‌نیمه چهارم به سیستم بهره‌برداری در سناریو D1 موجب بهبود عملکرد ذخایر منابع آبی منطقه خواهد شد. نتایج به کارگیری سناریو R1 در منطقه نسبت به وضع موجود در کل دوره ۳۲ سال از ۶۲/۵ به ۸۶/۷ و دوره کم‌آبی ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۲ با افزایش اعتمادپذیری مواجه است.

منابع

- بی‌نام. ۱۳۷۱. طرح بهره‌برداری بهینه از آب رودخانه هیرمند. مهندسین مشاور تهران سحاب، شرکت توسعه منابع آب و خاک سیستان و بلوچستان، خاکشناسی شماره ۲۳، ۸۰ ص.
- بی‌نام. ۱۳۸۷. مطالعات تبخیر چاه‌نیمه. مهندسین مشاور سامانه فرآیندهای محیطی، شرکت توسعه منابع آب و خاک سیستان و بلوچستان، خاکشناسی شماره ۲۴، ۹۶ ص.
- دانش‌کار آراسته پ. ۱۳۸۳. توسعه یک مدل توزیعی برآورد تبخیر منطقه‌ای با بهره‌گیری از فنون سنجش از دور (مطالعه موردی دریاچه هامون). رساله دوره دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ۲۵۰ ص.

14. Hashimoto T. Loucks D. P. and Stedinger J. 1982. Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Water Resources Research*. 18(1): 14-20.
15. Jeniffer K. M. Shadrack T. Mavengano S. Z. Tsehaie W. and Robert. B. 2010. Water allocation as a planning tool to minimize water use conflicts in the upper EwasoNgiro North basin. *Kenya Water Resource Management*. 24: 3939-3959.
16. Kjeldsen T. R. and Rosbjerg D. 2004. Choice of reliability, resilience and vulnerability estimators for risk assessments of water resources systems. *Hydrological Sciences des Sciences Hydrologiques*. 49(5): 757-767.
17. 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.
18. Siminovic S. P. 1992. Reservoir Systems Analysis: Gap between Theory and Practice. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 118(3): 262-280.
19. Tennant D. L. 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries*. 1(4): 6-10.
20. UNESCO (United Nations, Economic and Social Commission for Asia and the Pacific). 2000. Principles and Practices of Water Allocation among Water-Use Sectors. *ESCAP Water Resources Series No. 80*, Bangkok, Thailand. 80(20): 327-347.
21. 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.
۴. دهقان ز. دلبری م. و محمدرضاپور ا. ۱۳۹۲. برنامه‌ریزی تخصیص منابع آب با استفاده از مدل WEAP در حوضه گرگانرود پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آب و خاک، دانشگاه زابل، ۱۴۰ ص.
۵. زهرایی ب. جعفری بی‌بالان ب. و سلطانی ج. ۱۳۹۰. مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب سیستان. دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، ۲۸-۲۹ اردیبهشت ماه، شرکت آب منطقه‌ای زنجان. زنجان. ۸-۱.
۶. شوریان م. و موسوی س ج. ۱۳۸۵. برنامه‌ریزی تخصیص منابع آب در سطح حوضه آبریز با اهداف انتقال آب بین حوضه‌ای. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی اصفهان. ۸-۱.
۷. گنجی آ. خلیلی د. و همایون فر م. ۱۳۸۵. تأثیر عدم اطمینان بر معیارهای مخاطره در مدیریت مخزن. تحقیقات منابع آب ایران. ۳: ۱۳-۲۶.
۸. نوروزی ب. بارانی غ. مفتاح هلقی م. و دهقانی ا. ۱۳۹۰. بهینه‌سازی بهره‌برداری از یک سیستم چند مخزن به روش الگوریتم ژنتیک چندجمعیتی مطالعه موردی (سدهای گلستان و وشمگیر). مجله پژوهش حفاظت آب و خاک. ۱۸(۴): ۱-۲۰.
۹. یزدان‌پناه ط. خداشناس س. داوری ک. قهرمان ب. ۱۳۸۶. مدیریت منابع آب حوضه آبریز با استفاده از مدل WEAP (مطالعه موردی ازغند). مجله علوم و صنایع کشاورزی ویژه آب و خاک، ۲۲(۱): ۲۱۳-۲۲۱.
۱۰. مرکز آمار ایران. ۱۳۹۰. نتایج سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰. نتایج تفصیلی استان سیستان و بلوچستان.
11. Bangash R. F. 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*. University Catalonia, Spain. 440(12): 60-71
12. 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.
13. Hagan I. 2007. Modelling the Impact of Small Reservoirs in the Upper East Region of Ghana, Master Thesis. Lund University. Sweden. 300(59): 1-58.