مجله پژوهش آب ایران
سال ششم/ شماره یازدهم/ پاییز و زمستان ۱۳۹۱ (۱۵۳-۱۶۳)

ارزیابی قابلیت تأمین بلندمدت آب در حوضه آبریز زاینده‌رود تحت تأثیر طرح‌های انتقال آب با بهینه‌سازی چند- دوره‌ای

اکبر کریمی[۱*]، محمدرضا نیکو[۲]، رضا کراچیان[۳] و احسان شیرنگی[۴]

چکیده

در حوضه آبریز زاینده‌رود طرح‌های انتقال آب مهمی مثل انتقال از تونل‌های کوهرنگ به حوضه و یا انتقال به یزد و کاشان از حوضه، اجرا شده است. ارزیابی تأثیر بهره‌برداری از این طرح‌ها بر تأمین آب در حوضه آبریز زاینده‌رود و ارایه راهکارهای کاهش این اثرات، به ویژه در بلندمدت که عدم قطعیت‌های هیدرولوژیکی نیز بر آن تأثیرگذار است، از موضوعات مهم برای تصمیم‌گیران بخش آب و ذینفعان آب‌بر محسوب می‌شود. در این تحقیق، تأثیر خشکسالی و افزایش ظرفیت انتقال آب از حوضه، با توسعه یک مدل بهینه‌سازی غیرخطی چند- دوره‌ای در یک افق ۱۰ ساله، تحلیل و بررسی شده است. نتایج این تحلیل نشان می‌دهد که در شرایط نرمال و درحالت افزایش انتقال آب، با تأمین ۴۳٪ آب مورد نیاز از رودخانه و ۵۷٪ آن از آبخوان‌ها، حداکثر درصد تأمین نیاز در سطح حوضه محقق می‌شود. در یک خشکسالی حاد که ۴۰٪ از منابع سطحی کاهش می‌یابد، کاربرد مدل بهینه‌سازی چند- دوره‌ای نشان می‌دهد که می‌توان سیستم آبی را به گونه‌ای بهره‌برداری کرد که فقط ۶٪ تخصیص آب در حوضه آبریز در مقایسه با شرایط نرمال کاهش یابد. نتایج به دست آمده مبین توانایی مدل‌های بهینه‌سازی چند- دوره‌ای در استفاده همزمان از پتانسیل‌های مکانی و زمانی سیستم آبی در کاهش اثرات نامطلوب خشکسالی و احداث طرح‌های انتقال آب بر تأمین آب در حوضه آبریز زاینده‌رود است.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، تأمین آب، تخصیص آب، حوضه آبریز زاینده‌رود، سناریوهای مدیریتی.

ارجاع: کریمی ا. نیکو م. ر. کراچیان ر. و شیرنگی ا. ۱۳۹۱. ارزیابی قابلیت تأمین بلندمدت آب در حوضه آبریز زاینده‌رود تحت تأثیر طرح‌های انتقال آب با بهینه‌سازی چند- دوره‌ای. مجله پژوهش آب ایران. ۶(۱۱):۱۵۳-۱۶۳.

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، واحد تهران شرق، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.
۲- استادیار بخش مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه شیراز، شیراز.
۳- استاد دانشکده مهندسی عمران و قطب علمی مهندسی و مدیریت زیر ساخت‌های عمرانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران.
۴- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج.
*** نویسنده مسئول: erajkarimi@gmail.com**
تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۵/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۷/۲۴

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

امکان‌سنجی تأمین آب برای نیازهای شرب، کشاورزی و صنعت از چالش‌های مدیریت منابع آب در بلندمدت، به واسطه توسعه اقتصادی- اجتماعی است. ارزیابی تأمین سالانه آب برای نیازهای آبی پایین‌دست سد زاینده‌رود توسط مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب با استفاده از بیلان آبی مخزن برای سناریوهای مختلف رشد تقاضای آب صورت گرفته است. البته مدل‌سازی دقیق‌تر حوضه آبریز با در نظر گرفتن توزیع مکانی نقاط برداشت و مصرف آب، به علاوه برداشت از آبخوان‌ها، امکان ارزیابی صحیح‌تر امکان تأمین آب را در شرایط مختلف برای تصمیم‌گیران فراهم می‌کند (سالمی و موری‌راست، ۲۰۰۲). اردکانیان (۲۰۰۵) به منظور استفاده بهینه از پتانسیل هماهنگ‌سازی بهره‌برداری از سیستم نیروگاه‌های آبی دز- کارون و حرارتی مدحج و رامین در تأمین حداکثری نیاز انرژی در یک افق ۳ ساله با هدف حداقل‌سازی هزینه بهره‌برداری از سیستم، از رویکرد بهینه‌سازی چند- دوره‌ای استفاده کرده است. پالوتینو و همکاران (۲۰۰۵)، تأثیر کم آبی بر عملکرد سیستم آبی فلومندوسا- کامپیدانو در ساردینیای کشور ایتالیا را با استفاده از بهینه‌سازی چند- دوره‌ای، که قادر به حداقل‌سازی هزینه‌های بلندمدت رهاسازی آب از مخازن است، بررسی کردند. هیگینز و همکاران (۲۰۰۸)، با استفاده از بهینه‌سازی چند- دوره‌ای نشان دادند که می‌توان بهره‌برداری از سیستم آبی جنوب شرق کوییزنلند را به نحوی برنامه‌ریزی کرد که تحت دو سناریوی پایه و اضافه شدن آبهای بازگشتی به مخازن، با قابلیت اطمینان یکسان نیازهای آبی تأمین شود. سازمان منابع آب کالیفرنیا با استفاده از مدل CALSIM II، عملکرد تأسیسات آبی و بهره‌برداری از آن‌ها و قابلیت اطمینان تأمین آب را ارزیابی کردند. البته مدل مذکور از رویکرد بهینه‌سازی تک- دوره‌ای برای بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم آبی استفاده کرده است (کلوز و همکاران، ۲۰۰۳). تفاوت مدل‌های تک- دوره‌ای با مدل‌های چند- دوره‌ای، عدم لحاظ اثرات بلندمدت بهره‌برداری کنونی بر تأمین آب در دوره‌های بعدی توسط مدل‌های تک- دوره‌ای است، که قابلیت اطمینان پاسخ‌های آن‌ها را در مقایسه با مدل‌های چند- دوره‌ای پایین می‌آورد (کلوز و همکاران، ۲۰۰۳). مدل شبیه‌سازی REALM در سیستم آبی گولبورن، در ایالت ویکتوریای استرالیا، برای تعیین منحنی‌های فرمان مخازن و نقاط برداشت آب کشاورزی با توجه به حداقل نیاز زیست‌محیطی در یک تحلیل بلندمدت ۱۱۰ ساله استفاده شده است (پررا و همکاران، ۲۰۰۵). علاوه بر این، مدل REALM برای تعیین سهم آب هریک از شرکت‌های متصدی امور آب در ایالت ویکتوریا تحت تأثیر شرایط کم‌آبی و پرآبی و تحلیل راهکارهای مختلف تأمین آب شهر ملبورن استفاده شده است. مدل REALM نیز از روش بهینه‌سازی تک- دوره‌ای برای تحلیل سیستم آبی استفاده می‌کند (پررا و همکاران، ۲۰۰۵). از بهینه‌سازی چند- دوره‌ای برای هماهنگ‌سازی زمانی و مکانی بهره‌برداری اجزا سیستم‌های آبی در تعیین سهم بهینه آب هر یک از ایالت‌های حوضه آبریز سن‌خوان در جنوب آمریکا و تعیین قواعد بهینه بهره‌برداری از سد هوور استفاده شده است (فرورت و همکاران ۲۰۰۶ و لابادیه، ۲۰۰۴). با استفاده از بهینه‌سازی چند- دوره‌ای از پتانسیل‌های ذخیره‌ای سیستم آبی حوضه آبریز دریای آرال در تخصیص آب، به نیازهای آبی، به ویژه کشاورزی، به شکلی که حداقل اثرات منفی را بر تأمین نیاز زیست‌محیطی دریای آرال داشته باشد، استفاده شده است (کای و همکاران، ۲۰۰۳؛ شلوتر و همکاران، ۲۰۰۵). در پژوهش‌های مرور شده، به کاربرد بهینه‌سازی بلندمدت برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و یا توسعه بر بهره‌برداری از سیستم آبی و امکان‌سنجی بهره‌برداری از سیستم آبی با هزینه کمتر، توجه شده است. اما کاربرد دیگر این مدل‌ها، با توجه به قابلیت جهت‌دهی به تصمیم‌ها و بهره‌برداری از سیستم آبی به سمت اهداف یک یا چند ذینفع، علاوه بر ارزیابی اثرات، تعیین راهکارهای بهینه بهره‌برداری از سیستم‌های آبی در سناریوهای مختلف تغییر اقلیم، خشکسالی و یا توسعه می‌باشد. با مدل بهینه‌سازی توسعه داده شده در این تحقیق، علاوه بر ارزیابی آثار بلندمدت خشکسالی و انتقال آب بر توزیع مکانی و زمانی تأمین آب در سطح حوضه آبریز زاینده‌رود، راهکارهای بهینه تخصیص آب به تفکیک منابع آب و نیازها در شرایط مختلف که حداقل اثرات منفی بلندمدت را بر تأمین آب دارند، نیز ارایه می‌شود.

مواد و روش‌ها

حوضه آبریز زاینده‌رود به واسطه حضور مراکز مهم جمعیتی، مانند شهر اصفهان، صنایع مادر کشور و پروژه‌های

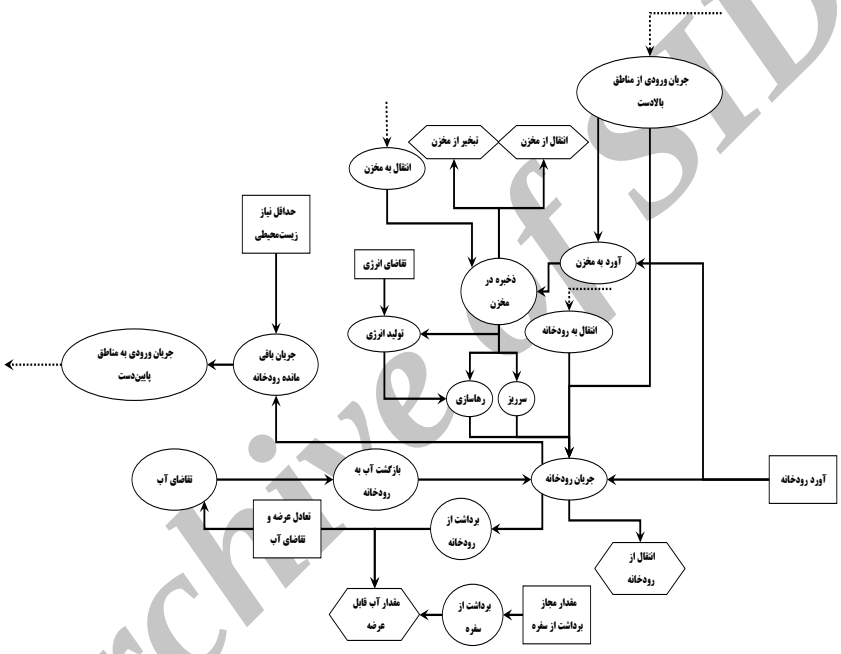
Archive of SID

www.SID.ir

بزرگ کشاورزی، طرح‌های مهم انتقال آب کوهرنگ، چشمه لنگان و خدنگستان به آن و انتقال آب به شهرهای یزد و کاشان از اهمیت خاصی برای تصمیم‌گیران بخش آب و محققین از منظر تأمین آب در آینده برخوردار است. در این تحقیق تأمین آب در حوضه آبریز زاینده‌رود در شرایط مختلف هیدرولوژیکی و توسعه ظرفیت انتقال از حوضه بررسی می‌شود. در شرایط کنونی با احتساب انتقال آب از تونل سوم کوهرنگ، کمبود آب برای تأمین نیازها از سال ۲۰۱۰ میلادی به بعد وجود خواهد داشت (سالمی و موری‌راست، ۲۰۰۲). البته تحلیل‌های مذکور مبتنی بر بیلان‌های کلی آبی در سطح حوضه آبریز بوده و توزیع مکانی منابع و مصارف را علاوه بر قابلیت ذخیره‌سازی سد زاینده‌رود در کاهش کمبودها در نظر نمی‌گیرد.

تئوری مسأله

در این تحقیق به منظور لحاظ توزیع مکانی منابع، مصارف و قابلیت ذخیره‌سازی سد زاینده‌رود در مدل‌سازی سیستم آبی، از رویکرد تقسیم حوضه آبریز به مناطق مطالعاتی، تدوین معادلات بیلان آب، تأمین نیاز و خروجی آب از منطقه، برای هر منطقه مطالعاتی استفاده شده است. در این رویکرد، آب خروجی (و یا انتقالی) از یک منطقه مطالعاتی به منطقه دیگر، اثرات بهره‌برداری را به پایین‌دست منتقل می‌کند. در شکل ۱، مدل مفهومی سیستم آبی برای یک منطقه مطالعاتی نشان داده شده است.



شکل ۱- مدل مفهومی بهره‌برداری از سیستم آبی در یک منطقه مطالعاتی

برای هر منطقه مطالعاتی، با توجه به مدل مفهومی شکل ۱، معادلات مبین بهره‌برداری از مخزن (معادله ۱ و ۲)، رودخانه (معادله ۳) و آبخوان (معادله ۶) برای تمام بازه‌های زمانی دوران برنامه‌ریزی، تشکیل می‌شود (کریمی و اردکانیان، ۱۳۸۵؛ کریمی و اردکانیان، ۲۰۱۰). معادله ۴ خروجی از منطقه مطالعاتی و معادله ۵ نیز تأمین نیاز آبی شرب را بیان می‌کند.

$$S_r^{y,m} + I_r^{y,m} + \sum_{r'(r)} O_{r'}^{y,m} + \sum_{r'(r)} WT_{r',r}^{y,m} - SP_r^{y,m} - PF_r^{y,m} - Ev_r^{y,m} - R_r^{y,m} - \sum_{r(r')} WT_{r,r'}^{y,m} = S_r^{y,m+1} \quad (۱)$$

$$HE_r^{y,m} = F^m . \eta_r . \gamma . PF_r^{y,m} . H_r^{y,m} \quad (۲)$$

$$RAA_r^{y,m} + RAI_r^{y,m} + RAD_r^{y,m} + \sum_{r(r')} WT_{r,r'}^{y,m} + UARF_r^{y,m} = RF_r^{y,m} \quad (۳)$$

$$UARF_r^{y,m} + SRA_r^{y,m} + SRI_r^{y,m} + SRD_r^{y,m} = O_r^{y,m} \quad (۴)$$

$$RAD_r^{y,m} + GAD_r^{y,m} + DDSI_r^{y,m} = DD_r^{y,m} \quad (۵)$$

$$O_r^{y,m} + IEDSl_r^{y,m} \geq IED_r^{y,m} \quad (۶)$$

$$GAA + GAD_r^{y,m} + GAI_r^{y,m} \leq AGW_r^{y,m} \quad (۷)$$

که در آن‌ها، $S_r^{y,m}$، $I_r^{y,m}$ و $O_r^{y,m}$ به‌ترتیب، حجم ذخیره مخزن، آورد به مخزن سد و خروجی از منطقه مطالعاتی

Archive of SID

www.SID.ir

بر حسب میلیون متر مکعب هستند. $Ev_r^{y,m}$، $WT_{r,r'}^{y,m}$ و $SP_r^{y,m}$ نیز به ترتیب، حجم تبخیر، آب انتقالی و حجم سرریز از مخزن بر حسب میلیون متر مکعب هستند. $PF_r^{y,m}$ و $R_r^{y,m}$ به ترتیب، جریان خروجی از توربین و رهاسازی از مخزن برحسب میلیون متر مکعب می‌باشند. $HE_r^{y,m}$ انرژی تولیدی بر حسب مگاوات بر ساعت؛ η_r کارایی توربین؛ $H_r^{y,m}$ ارتفاع آب مخزن بر حسب متر؛ $RAA_r^{y,m}$، $RF_r^{y,m}$ و $SRI_r^{y,m}$ به ترتیب، حجم برداشت آب برای کشاورزی از رودخانه، رواناب ورودی به رودخانه و آب بازگشتی از مصرف صنعت به رودخانه بر حسب میلیون متر مکعب هستند. $GAA_r^{y,m}$، $GAD_r^{y,m}$، $DDSl_r^{y,m}$ و $IEDSl_r^{y,m}$ به ترتیب، حجم برداشت آب برای کشاورزی از آبخوان، حجم برداشت آب برای شرب از آبخوان، کمبود در تأمین نیاز شرب و کمبود در تأمین نیاز زیست‌محیطی بر حسب میلیون متر مکعب می‌باشند. F^m نیز ضریب تبدیل زمانی در معادله انرژی است. $RAI_r^{y,m}$، $RAD_r^{y,m}$، $UARF_r^{y,m}$، $SRA_r^{y,m}$ و $SRD_r^{y,m}$ به ترتیب، حجم برداشت آب برای صنعت از رودخانه، حجم برداشت آب برای شرب از رودخانه، حجم آب برداشت نشده در رودخانه، آب بازگشتی از مصرف کشاورزی به رودخانه و آب بازگشتی از مصرف شرب به رودخانه بر حسب میلیون متر مکعب هستند. در نهایت، $GAI_r^{y,m}$، $DD_r^{y,m}$، $IED_r^{y,m}$ و $AGW_r^{y,m}$ به ترتیب، حجم برداشت آب برای صنعت از آبخوان، نیاز آبی شرب، حداقل نیاز زیست‌محیطی و حجم مجاز برداشت از آبخوان بر حسب میلیون متر مکعب هستند.

معادله ۱، بیلان آب مخزن را با لحاظ آوردها و انتقال‌ها از مناطق بالادست، رواناب ورودی به مخزن، تبخیر، تولید انرژی و رهاسازی نشان می‌دهد. در حقیقت آوردها و انتقال از مناطق بالادست منطقه r، اثرات بهره‌برداری بالادست را به مخزن منطقه r در پایین‌دست منتقل می‌کنند. در این مدل‌سازی، تولید انرژی توسط مخزن (معادله ۲)، برداشت آب از رودخانه (معادله ۳)، خروجی از منطقه r (معادله ۴)، تأمین نیاز شرب (معادله ۵)، قید تأمین نیاز زیست‌محیطی رودخانه (معادله ۶) و حد بالای برداشت از سفره زیرزمینی (معادله ۷) نیز در نظر گرفته شده است. البته معادلات مذکور از اصلی‌ترین معادلات در مدل‌سازی بهره‌برداری از سیستم آبی می‌باشند. معادلات تأمین نیاز کشاورزی و صنعت نیز مشابه با نیاز بخش شرب بوده و کمبود در تأمین نیاز نیز برای آن‌ها در نظر گرفته شده است. مدل بهینه‌سازی با پیش‌آگهی از مقدار آوردها تا انتهای دوران برنامه‌ریزی رهاسازی از مخزن را به گونه‌ای بهینه می‌کند که همیشه ذخیره کافی برای تأمین نیاز با حداقل کمبودها را داشته باشد. بنابراین، در مدل‌های چند- دوره‌ای نیازی به معرفی حجم ذخیره مطلوب نیست، چون مدل با لحاظ توأمان شرایط سیستم آبی، نیازها و قیود از ابتدای زمان تحلیل تا انتهای آن، حجم مطلوب ذخیره در مخزن را با توجه بهینگی تابع هدف در کل دوران برنامه‌ریزی تعیین می‌کند. در تابع هدف مسأله، هزینه تجمعی بهره‌برداری از سیستم آبی و تأمین آب برای نیازهای آبی در تمام بازه‌های زمانی حداقل می‌شود (معادلات ۸ و ۹). بدین ترتیب عملکرد تمامی مناطق در هر ماه و برای تمام سال‌های برنامه‌ریزی به طور همزمان به نحوی هماهنگ و بهینه می‌شود که حداقل هزینه تأمین آب را به همراه داشته باشد. بدین ترتیب بهره‌برداری از سیستم آبی در سمتی جهت داده می‌شود، که حداقل هزینه تجمعی بهره‌برداری از سیستم آبی را در یک افق بلندمدت داشته باشد.

$$
\begin{aligned}
C_r^y = {} & W1_r^y . \sum_m RAD_r^{y,m} + W2_r^y . \\
& \sum_m RAI_r^{y,m} + W3_r^y . \sum_m RAA_r^{y,m} + W4_r^y . \\
& \sum_m PF_r^{y,m} + W5_r^y . \sum_m R_r^{y,m} + W6_r^y . \\
& \sum_m SP_r^{y,m} + \sum_{r',m} W7_{r,r'}^y . WT_{r,r'}^{y,m} + W9_r^y . \\
& \sum_m GAA_r^{y,m} + W10_r^y . \sum_m GAI_r^{y,m} + W11_r^y . \\
& \sum_m GAD_r^{y,m} + W12_r^y . \sum_m S_r^{y,m} + W13_r^y . \\
& \sum_m HESl_r^{y,m} + W14_r^y . \\
& \sum_m DDSl_r^{y,m} + W15_r^y . \sum_m IDSl_r^{y,m} + \\
& W16_r^y . \sum_m ADSl_r^{y,m}
\end{aligned}
\qquad (۸)
$$

$$
TC = \sum_y \sum_r C_r^y \qquad (۹)
$$

که در آن ها C_r^y و TC به‌ترتیب، هزینه بهره‌برداری از سیستم آبی در منطقه r و کل هزینه بهره‌برداری از

Archive of SID

www.SID.ir

سیستم آبی در افق برنامه‌ریزی برحسب میلیون دلار هستند. W_r^y نیز ضریب اهمیت منتسب به اجزا تابع هدف است. در نهایت، $HESl_r^{y,m}$، $IDSl_r^{y,m}$ و $ADSl_r^{y,m}$ به ترتیب، کمبود در تأمین نیاز انرژی، صنعت و کشاورزی بر حسب میلیون متر مکعب می‌باشند.

شکل سمبولیک ریاضی مدل توسعه داده شده برای سیستم آبی در معادله ۱۰ نشان داده شده است.

$$\begin{aligned} &Min.\ Z = C^T X \\ &s.t. \\ &X^T AX = B \\ &X \geq 0 \end{aligned} \qquad (۱۰)$$

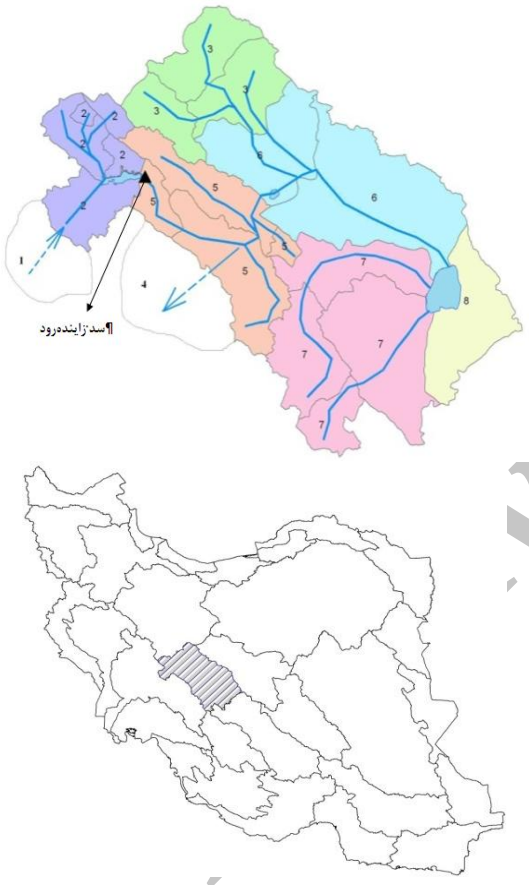
در مدل ریاضی غیرخطی نشان داده شده، C بردار هزینه‌ها، X بردار متغیرهای تصمیم، A ماتریس ضرایب و B بردار سمت راست قیود است. به مدلی غیرخطی با ساختار بالا، برنامه مقید شده مربعاتی[1] گفته می‌شود (روزنتال، ۲۰۰۶). این نوع از برنامه‌های ریاضی، با روش‌های حل خطی ترتیبی حل می‌شوند. اما، روش ساده‌تری که در نرم‌افزارهای بهینه‌سازی مانند GAMS قابل کاربرد است، حل مسأله در حالت خطی و به دست آوردن یک جواب اولیه مناسب توسط برنامه CPLEX و سپس استفاده از آن جواب اولیه برای حل مسأله در حالت غیرخطی توسط برنامه MINOS است (کای و همکاران، ۲۰۰۱).

ساخت مدل سیستم حوضه آبریز زاینده‌رود و اطلاعات ورودی

در این تحقیق برای مدل‌سازی، حوضه آبریز زاینده‌رود به ۸ منطقه تقسیم‌بندی شده است. البته برای مدل‌سازی انتقال آب از تونل‌های کوهرنگ به حوضه زاینده‌رود و انتقال آب از حوضه به یزد و کاشان، دو منطقه مجازی در نظر گرفته شده است، که صرفاً برای مدل‌سازی کاربرد دارند. در شکل ۲، حوضه آبریز زاینده‌رود، مناطق مورد استفاده و همپوشانی آن‌ها با منطقه‌بندی جاماب، که مطالعات طرح جامع آب را در این حوضه انجام داده است، نمایش داده شده است (سازمان برنامه‌ریزی و مدیریت، ۱۳۸۴). در جدول ۱ نیز توضیحات مربوط به هر منطقه ارایه شده است.

سری زمانی رواناب سطحی برای سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ در هر یک از مناطق ۸ گانه، که سال‌های پر آب و کم آب را در خود دارد، در شکل ۳ نمایش داده شده است.

نیازهای آبی و توزیع ماهانه آن‌ها، که فرض می‌شود در دوران تحلیل ثابت بمانند، در جدول ۲ و شکل ۴ نمایش داده شده است. در این تحقیق به بررسی اثرات کم آبی و افزایش ظرفیت انتقال آب از حوضه آبریز زاینده‌رود بر تأمین آب برای نیازهای موجود در سطح حوضه پرداخته می‌شود. با توجه به اینکه از مدل بهینه‌سازی چند-دوره‌ای استفاده می‌شود، و تابع هدف مدل نیز کاهش مقدار تجمعی کمبودها در کل دوران تحلیل است، تصمیماتی که اثرات منفی کم‌آبی و یا افزایش انتقال آب را تا حد ممکن حداقل کند به دست می‌آید.



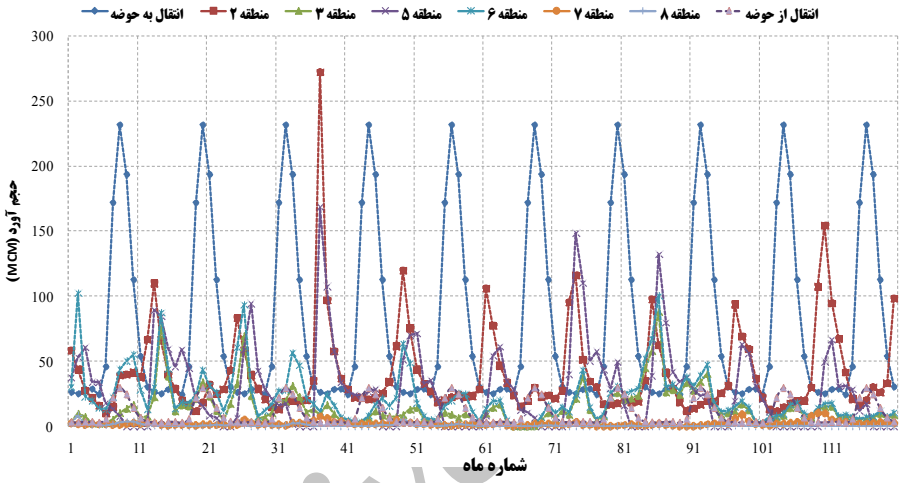
شکل ۲- موقعیت حوضه آبریز زاینده‌رود و منطقه‌بندی بخش‌های مختلف حوضه در مدل سازی (مثلث سیاه سد زاینده‌رود است)

1- Quadratically constrained problems

www.SID.ir

جدول ۱- تقسیمات در نظر گرفته شده برای حوضه آبریز زاینده‌رود

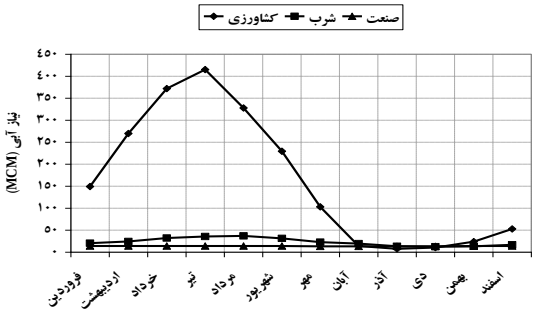
کد منطقه	توضیحات (همپوشانی با مناطق مطالعاتی جاماب)
۱	تونل‌های کوهرنگ و انتقال از آن‌ها به حوضه (منطقه‌ای مجازی)
۲	منطقه بالادست سد شامل دامنه، بازده- شاه‌آباد، چهلکرد، چادگان و بویین
۳	منطقه میمه، علویجه- دهق و مورچه خورت
۴	انتقال به یزد و کاشان (منطقه‌ای مجازی)
۵	سدزاینده‌رود، بن- سامان، لنجانات، مهیارشمالی و نجف‌آباد (پایین‌دست سد)
۶	برخوار و کوهپایه- سگزی (زاینده‌رود میانی)
۷	ایزدخواست، قمشه- دهاقان و دشت‌آسمان
۸	باتلاق گاوخونی



شکل ۳- سری زمانی ۱۰ ساله آوردها برای مناطق مختلف حوضه آبریز زاینده‌رود (سری زمانی انتقال به حوضه و انتقال از حوضه)

جدول ۲- نیاز های آبی سالانه در حوضه آبریز زاینده‌رود (۱۳۸۰-MCM)

منطقه	نیاز کشاورزی	نیاز شرب	نیاز صنعت	کل نیاز آبی	برداشت مجاز از آبخوان
۱	۰	۰	۰	۰	۰
۲	۲۵۳	۱۲/۲	۵		۲۹۹/۵
۳	۱۲۱/۵	۳/۸	۹/۷	۱۳۵	۱۲۶/۵
۴	۰	۰	۰	۰	۰
۵	۴۵۰/۵	۶۵/۱	۹۴/۴	۶۱۰	۹۰۰
۶	۹۴۵	۱۸۴/۱	۵۷/۴	۱۱۸۶/۶	۷۹۷/۵
۷	۲۰۵/۵	۱۳/۶	۲/۹	۲۲۲	۲۴۶/۵
۸	۰	۰/۱	۰	۰/۱	۰/۲



شکل ۴- توزیع ماهانه کل نیاز آبی کشاورزی، شرب و صنعت

سناریوهایی که برای تحلیل در این تحقیق در نظر گرفته شده‌اند شامل موارد زیر هستند:

- سناریوی پایه: در سناریوی پایه فرض بر ادامه روندها و شرایط کنونی سیستم آبی است که این سناریو برای مقایسه سناریوهای دیگر به کار می‌رود.
- سناریوی خشکسالی: کاهش۴۰٪ آورد به مخزن و جریان رودخانه نسبت به سری زمانی در نظر گرفته شده برای سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ که مبین یک

Archive
www.SID.ir

خشکسالی نسبتاً شدید در حوضه آبریز زاینده‌رود باشد. با توجه به شکل ۵ وقوع چنین خشکسالی‌هایی در سطح حوضه آبریز زاینده‌رود محتمل است.

- سناریوی افزایش ظرفیت انتقال: افزایش مقدار انتقال آب به یزد و کاشان از مقدار کنونی ۳۶ میلیون متر مکعب، به مقدار ۱۲۵ میلیون متر مکعب (۸۰ میلیون متر مکعب به یزد و ۴۵ میلیون متر مکعب به کاشان)

صحت‌سنجی مدل

قبل از کاربرد مدل در تحلیل سیستم زاینده‌رود، عملکرد مدل بهینه‌سازی باید صحت‌سنجی شود. یکی از روش‌های صحت‌سنجی مقایسه رفتار مدل با یک مدل شناخته شده است. در صحت‌سنجی بدین روش دو موضوع مورد توجه قرار می‌گیرد؛ کنترل مقدار خروجی‌ها از نظر اشتباه نبودن، که صحت حل عددی مدل را نشان می‌دهد، و اثبات رفتار مورد انتظار از مدل با علم به تفاوت‌های رفتاری مدل توسعه داده شده و مدلی که برای صحت‌سنجی استفاده می‌شود. در این تحقیق از مدل WEAP، برای صحت‌سنجی مدل بهینه‌سازی چند- دوره‌ای استفاده می‌شود. مدل WEAP از بهینه‌سازی تک- دوره‌ای مبتنی بر شبکه جریان با حداقل هزینه برای بهره‌برداری از سیستم آبی استفاده می‌کند. این مدل در ۵۶ پروژه آبی در جنوب شرق آسیا، آسیای میانه، خاورمیانه، شمال آفریقا، مکزیک، شیلی و ۸ ایالت آمریکا استفاده شده است. با توجه به خصوصیات مدل بهینه‌سازی بلندمدت، انتظار می‌رود نوسانات پاسخ‌ها، کمتر و تأمین اهداف، بهتر صورت گرفته باشد، زیرا که مدل WEAP با توجه به شرایط بازه زمانی که در آن قرار دارد بهینه‌سازی انجام داده و شرایط آتی سیستم آبی را در بهره‌برداری کنونی در نظر نمی‌گیرد. دوره صحت‌سنجی سال آبی ۱۳۸۰ و با شرایط بهره‌برداری از مخزن، حداقل حجم بهره‌برداری ۴۳۸/۵، حجم نرمال مخزن ۱۴۷۰ و حجم اولیه مخزن ۹۷۰ میلیون متر مکعب در نظر گرفته شده است. اطلاعات آبخوان به صورت حداکثر مقدار مجاز برداشت با توجه به مطالعات جاماب درسطح حوضه در سال ۱۳۸۰ در نظر گرفته شده است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، ۱۳۸۴).

اولویت‌های در نظر گرفته شده برای مدل WEAP، تأمین نیاز کشاورزی، زیست‌محیطی و در نهایت پرکردن مخزن است. برای مدل بهینه‌سازی چند- دوره‌ای، اولویت‌ها، رهاسازی از مخزن برای تأمین نیاز کشاورزی و تولید انرژی و تأمین نیاز زیست‌محیطی است. مدل چند- دوره‌ای با پیش آگهی از مقدار آوردها تا انتهای دوران برنامه‌ریزی رهاسازی از مخزن را به گونه‌ای بهینه می‌کند که همیشه ذخیره کافی برای تأمین نیاز با حداقل کمبودها را داشته باشد. بنابراین، بر خلاف مدل‌های شبیه‌سازی (تک- دوره‌ای) در مدل‌های چند- دوره‌ای نیازی به معرفی حجم ذخیره مطلوب نیست، چون مدل با لحاظ توأمان شرایط سیستم آبی، نیازها و قیود از ابتدای زمان تحلیل تا انتهای آن، حجم مطلوب ذخیره در مخزن را با توجه بهینه‌گی تابع هدف در کل دوران برنامه‌ریزی تعیین می‌کند. انتظار می‌رود علاوه‌بر اینکه تأمین آب توسط مدل بهینه‌سازی چند- دوره‌ای بهتر صورت بگیرد، شدت کمبودها نیز کمتر از مدل WEAP باشد. بدین ترتیب معیارهای رفتاری برای صحت‌سنجی عملکرد مدل چند- دوره‌ای در مقایسه با مدل WEAP مشخص می‌شود. نتایج صحت‌سنجی و تحلیل سیستم آبی زاینده‌رود در بخش نتایج ارایه و بحث شده است.

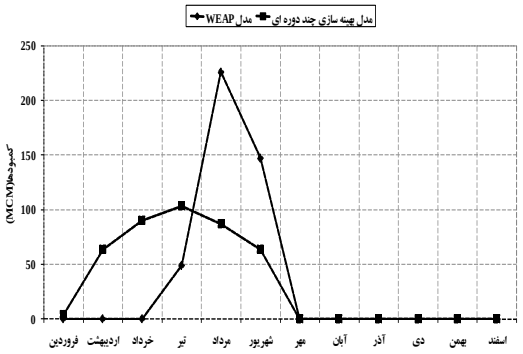
نتایج و بحث

نتایج صحت‌سنجی مدل بهینه‌سازی چند- دوره‌ای

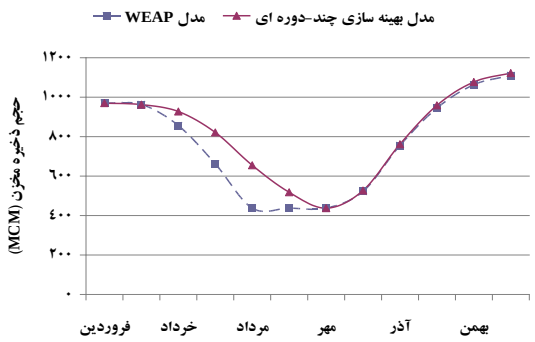
شکل‌های ۷ و ۸ عملکرد مخزن سد زاینده‌رود و تأمین آب را برای سال ۱۳۸۰ نشان می‌دهد. علاوه بر شکل‌های مذکور، جدول ۳ خلاصه عملکرد سالانه دو مدل بهینه‌سازی چند- دوره‌ای و WEAP را نشان می‌دهد. نتایج ارایه شده در زمینه صحت‌سنجی نشان می‌دهد که عملکرد مدل بهینه‌سازی چند- دوره‌ای بهتر از مدل WEAP است، زیرا آب و انرژی بیشتری را با تلفات آبی (تبخیر) کمتر، تأمین کرده است. بدین ترتیب دیده می‌شود که مدل بهینه‌سازی چند- دوره‌ای با توجه به پیش‌فرض‌ها و اولویت‌های در نظر گرفته شده، درست عمل کرده و در مقایسه با یک مدل شبیه‌سازی، که از بهینه‌سازی تک- دوره‌ای استفاده می‌کند، کارآیی بهتری دارد. اکنون که رفتار مدل بهینه‌سازی چند- دوره‌ای صحت‌سنجی شد از آن می‌توان برای ارزیابی سناریوهای مذکور در حوضه آبریز زاینده‌رود استفاده کرد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۷- کمبودها در تأمین نیازها در سال ۱۳۸۰



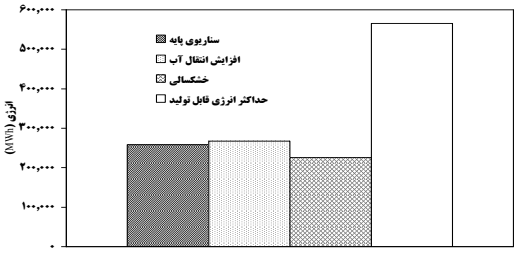
شکل ۸- حجم ذخیره آب در سد زاینده‌رود در سال ۱۳۸۰

جدول ۳- عملکرد سالانه دو مدل در دوره صحت‌سنجی

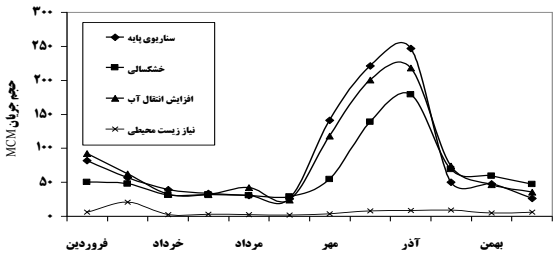
مدل	انرژی تولیدی (مگاوات ساعت)	آب بازگشتی (MCM)	خروجی سد (MCM)	آب تأمین شده (MCM)	کمبودها (MCM)	حجم تبخیر سالانه (MCM)
مدل WEAP	۱۹۰۸۰۰	۲۱۶	۱۱۲۴	۱۳۷۳	۴۲۳	۹۳
مدل بهینه‌سازی چند- دوره‌ای	۲۵۷۴۱۶	۲۰۸	۱۳۲۴/۵	۱۳۸۳/۴	۴۱۲	۶۵

نتایج تحلیل مدل برای سناریوها

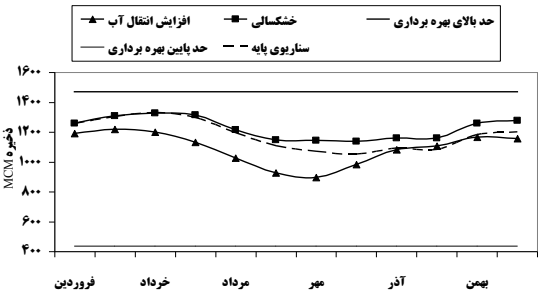
نتایج تحلیل مدل بهینه‌سازی برای سیستم آبی زاینده‌رود طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ در شکل‌های ۹ تا ۱۲ نمایش داده شده است. عملکرد مدل به طور متوسط برای ۱۰ سال تحلیل، رفتار نسبتاً ثابتی را برای سیستم آبی زاینده‌رود تجویز می‌کند، که در شکل ۱۰ ، ۱۱ و ۱۲ توزیع ماهانه آن ارایه شده است.



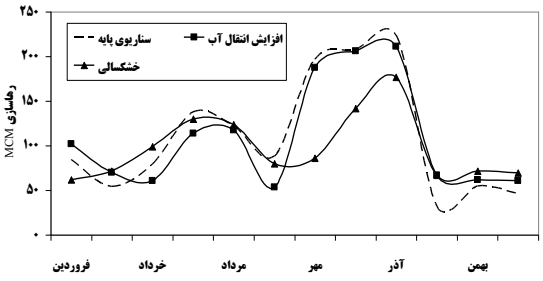
شکل ۹- انرژی تولیدی توسط سد زاینده‌رود



شکل ۱۰- جریان خروجی به باتلاق گاوخونی



شکل ۱۱- ذخیره آب مخزن سد زاینده‌رود



شکل ۱۲- رهاسازی آب از مخزن سد زاینده‌رود

بحث

در سناریوی افزایش انتقال آب از حوضه به واسطه افزایش خروجی مخزن، انرژی تولیدی توسط سد زاینده‌رود نیز نسبت به دو سناریوی دیگر، بیشتر است. البته کماکان خشک‌شدن حوضه، بیشترین اثر را بر بهره‌برداری از مخزن سد زاینده‌رود و تولید انرژی داشته است، هر چند که مدل بهینه‌سازی به نحوی عمل کرده که تأثیر۴۰٪ کاهش جریان، فقط ۱۳٪ بر تولید انرژی، اثر کاهشی داشته است (شکل ۹). مدل توصیه می‌کند که در شرایط خشکسالی، آب بیشتری در مخزن ذخیره و از منابع زیرزمینی بیشتر استفاده شود (شکل ۱۱ و جدول ۴). با توجه به این تصمیم مدل، خروجی از مخزن در سناریوی خشکسالی از

www.SID.ir

بقیه سناریوها کمتر است (شکل ۱۲). آسیب‌پذیرترین مناطق شماره ۳ و ۷ هستند که تا ۲۰٪ عدم تأمین در نیازهای کشاورزی برای آن‌ها وجود دارد. در جدول ۵، درصد توزیع مکانی تأمین نیازها در سناریوهای تحلیل شده در نقاط مختلف حوضه به تفکیک نیاز نشان داده شده است.

نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که می‌توان عملکرد سد زاینده‌رود را به نحوی تنظیم کرد (شکل ۱۱ و ۱۲) که تأمین آب مناطق مجاور رودخانه زاینده‌رود در بالادست و پایین‌دست سد، بیش از ۱۲٪ از خشکسالی تأثیر نپذیرند. البته مدل بهره‌برداری از منابع آبی مناطق موازی رودخانه زاینده‌رود در بالادست و پایین‌دست حوضه، که تحت تأثیر عملکرد سد نیستند، را نیز به گونه‌ای بهینه کرده است که به طور متوسط تا ۲۰٪ عدم تأمین نیاز کشاورزی از خشکسالی پذیرفته‌اند (جدول‌های ۴ و ۶).

قواعد تجویزی مدل برای بهره‌برداری از سد و سیستم آبی زاینده‌رود (شکل ۱۱ و ۱۲، جدول‌های ۴ و ۶) تأثیر افزایش انتقال آب از ۳۶ به ۱۲۵ میلیون متر مکعب به یزد و کاشان را فقط منحصر به منطقه ۵ با حداکثر کاهش ۱۸٪ تأمین نیاز صنعت، ۱۵٪ نیاز شرب و ۴٪ نیاز کشاورزی کرده است (جدول ۵). عملکرد مدل بهینه‌سازی چند- دوره‌ای در بهره‌برداری از سیستم آبی زاینده‌رود به گونه‌ای است که حداکثر ۶٪ تأمین آب کشاورزی نسبت به سناریوی پایه در شرایط خشکسالی (کاهش ۴۰٪ منابع سطحی) کاهش داشته باشد. در جدول ۶، مقادیر بهینه تخصیص آب در هر سناریو بر مبنای میانگین بلندمدت، به تفکیک رودخانه و آبخوان، ارایه شده است. این مقادیر، کاربری‌های بهینه آب زیرزمینی و رودخانه در تأمین نیازهای شرب، صنعت و کشاورزی درسطح حوضه آبریز زاینده‌رود را نشان می‌دهند. در جدول ۷ نیز مقادیر بهینه سهم تخصیص از رودخانه به تفکیک نیازها برای هر سناریو با توجه به میانگین ۱۰ ساله ارایه شده است.

مقادیر نسبت بهینه تخصیص از منابع سطحی و زیرزمینی که حداقل هزینه برای ذینفعان را به همراه داشته باشد در جدول‌های ۶ و ۷ نمایش داده شده است. چنانچه در حوضه آبریز با نسبت‌های مشخص شده در جدول ۷ تخصیص برای هر سناریو صورت می‌گیرد، نیازها به صورت نشان داده شده در جدول ۴ تأمین شده و منافع ذینفعان مختلف مسأله، شامل تخصیص‌دهنده آب، متقاضیان آب شرب، کشاورزی، صنعت و محیطزیست بیشینه می‌شود. علاوه بر این، نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که خشکسالی (در مقایسه با افزایش انتقال آب) اثرات معنی‌دارتری بر بهره‌برداری از سیستم آبی و منافع ذینفعان خواهد داشت.

جدول ۴- آب تخصیصی در هر سناریو به تفکیک منابع (میلیون متر مکعب- میانگین بلندمدت)

منطقه	سناریوی افزایش انتقال آب		سناریوی خشکسالی		سناریوی پایه	
	تخصیص از سفره	تخصیص از رودخانه	تخصیص از سفره	تخصیص از رودخانه	تخصیص از سفره	تخصیص از رودخانه
۲	۱۶۰/۹	۹۳/۰	۱۷۴/۹	۷۰/۳	۱۵۷/۲	۱۰۳/۶
۳	۳۵/۳	۸۱/۳	۴۹/۰	۶۰/۸	۳۶/۴	۸۰/۲
۵	۲۷۳/۳	۲۹۲/۶	۳۳۷/۶	۲۱۴/۳	۲۶۴/۱	۳۱۳/۵
۶	۲۷۰/۶	۸۸۱/۴	۳۱۸/۶	۸۳۰/۱	۲۳۲/۵	۹۴۰/۴
۷	۱۳۷/۰	۲۸/۰	۱۴۲/۹	۱۷/۳	۱۳۷/۰	۲۸/۰
۸	۰/۱۱	۰/۰	۰/۱۱	۰/۰	۰/۱۱	۰/۰

جدول ۵- تأمین آب در مناطق مختلف حوضه برای سناریوهای مختلف (درصد)

منطقه	سناریوی پایه			سناریوی خشکسالی			سناریوی افزایش ظرفیت انتقال آب		
	شرب	صنعت	کشاورزی	شرب	صنعت	کشاورزی	شرب	صنعت	کشاورزی
۲	۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۹۸	۱/۰	۰/۹	۰/۹۲	۱/۰۰	۰/۹۳	۰/۹۵
۳	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۸۵	۱/۰	۱/۰	۰/۷۹	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۸۵
۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۳	۱/۰	۱/۰	۰/۸۸	۰/۸۵	۰/۸۲	۰/۹۶
۶	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۰/۹۶	۰/۹۸	۱/۰۰	۰/۹۷
۷	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۷۲	۱/۰	۱/۰	۰/۷	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۷۲
۸	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۶- کل آب تخصیصی در هر سناریو (میلیون متر مکعب)

منطقه	کل نیاز آبی	افزایش انتقال	خشکسالی	سناریوی پایه
۲	۲۶۵/۷	۲۵۳/۹	۲۴۵/۲	۲۶۰/۸
۳	۱۳۵	۱۱۶/۶	۱۰۹/۸	۱۱۶/۶
۵	۶۱۰	۵۶۵/۹	۵۵۲	۵۷۷/۶
۶	۱۱۸۶/۶	۱۱۵۲	۱۱۴۸/۷	۱۱۷۲/۹
۷	۲۲۲	۱۶۵	۱۶۰/۲	۱۶۵
۸	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
مجموع تخصیص (نیاز آبی) در سطح حوضه	۲۴۱۹	۲۲۵۴	۲۲۱۶	۲۲۹۳
نسبت تأمین نیازها	---	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۹۵

جدول ۷- سهم تخصیص به تفکیک نیازها از رودخانه (درصد)

شماره منطقه	سناریوی افزایش انتقال آب			سناریوی خشکسالی			سناریوی پایه		
	کشاورزی	شرب	صنعت	کشاورزی	شرب	صنعت	کشاورزی	شرب	صنعت
۲	۸۹/۶	۱۰	۰/۴۶	۸۹/۶	۹/۹	۰/۴۷	۸۹/۷	۹/۹	۰/۴۶
۳	۸۳/۹	۴/۵	۱۱/۶	۷۸/۵	۶	۱۵/۵	۸۳/۷	۴/۶	۱۱/۷
۵	۵۹/۴	۱۵/۴	۲۵/۲	۶۷	۱۲	۲۱	۶۲/۹	۱۴/۴	۲۲/۸
۶	۷۳/۲	۲۰/۳	۶/۵	۷۱/۷	۲۱/۴	۶/۹	۷۴/۵	۱۹/۴	۶/۱
۷	۴۸/۳	۴۱/۳	۱۰/۴	۳۰/۵	۵۲/۶	۱۶/۹	۴۸/۳	۴۱/۲	۱۰/۴

نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثرات بهره‌برداری از سیستم آبی زاینده‌رود در شرایط خشکسالی و افزایش ظرفیت انتقال آب از حوضه، بر تأمین نیازهای آبی موجود حوضه، توسط یک مدل بهینه‌سازی بلندمدت بررسی شد. با توجه به لزوم توسعه در این حوضه آبریز به واسطه افزایش جمعیت‌های آتی، امکان بهره برداری از سیستم آبی حوضه تحت تأثیر خشکسالی و افزایش ظرفیت انتقال آب از حوضه، بر تأمین نیازهای موجود گردیده است. بدین ترتیب مشخص می‌شود که آیا این حوضه از منظر مدیریت تأمین آب قابلیت تأمین آب برای نیازهای موجود در وهله اول و نیازهای آینده را در صورت امکان با افزایش ظرفیت انتقال خواهد داشت یا نه. بدین منظور استفاده از مدل بهینه‌سازی بلندمدت، تضمین می‌کند که بهره‌برداری به نحوی صورت پذیرد تا اثرات تجمعی نامطلوب بهره‌برداری تا حد ممکن در یک افق بلندمدت (در این تحقیق ۱۰ ساله)، حداقل شده و نیازها به بهترین نحو ممکن پاسخ داده شوند. نتایج این تحلیل نشان می‌دهد که به منظور تأمین حداکثری نیازهای موجود حوضه آبریز در شرایط نرمال به طور متوسط ۴۳٪ آب مورد نیاز از رودخانه و ۵۷٪ آن از سفره آب زیرزمینی تأمین شود. علاوه بر این، مدل نشان می‌دهد که می‌توان بهره‌برداری از سیستم آبی زاینده‌رود را به نحوی انجام داد که با کاهش ۴۰٪ رواناب رودخانه در اثر خشکسالی، حداکثر ۶٪ تخصیص آب به بخش کشاورزی در حوضه آبریز در مقایسه با سال نرمال کاهش یابد. البته در شرایط خشکسالی تجویز مدل برداشت ۳۴٪ از رودخانه و ۶۶٪ از آبخوان برای حداقل کردن اثرات خشکسالی درسطح حوضه است. بدین ترتیب، بهینه‌سازی بلندمدت تخصیص آب نشان می‌دهد که در بخش‌های مختلف حوضه آبریز زاینده‌رود می‌توان از سیستم آبی به گونه‌ای بهره‌برداری کرد که در شرایط خشکسالی ۸۸٪ نیاز کشاورزی در پایین‌دست سد و ۷۰٪ نیاز کشاورزی در مناطق موازی رودخانه قابل تأمین باشد. نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که در بخش کشاورزی فقط با بهبود راندمان می‌توان نیازهای آبی توسعه کشاورزی در آینده را تأمین کرد و منابع کنونی (با لحاظ انتقال آب به حوضه) قابلیت پاسخگویی به نیازهای کنونی را نیز به طور کامل ندارد.

سپاس‌گزاری

این مقاله از دستاوردهای طرح پژوهشی مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شرق است. بدین وسیله از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی آن واحد دانشگاهی تشکر و قدردانی می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

۱. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. ۱۳۸۴. مطالعات برنامه جامع سازگاری با اقلیم (تعادل بخشی بین منابع و مصارف آب در حوضه‌های آبریز). دفتر امور آب، کشاورزی و منابع طبیعی. ۲۲۹ ص.

۲. کریمی ا. و اردکانیان ر. ۱۳۸۵. کاربرد مفهوم اجزای محدود در مدیریت منابع آب: مدل و نرم‌افزار FEWREM. مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۲(۲): ۱-۱۲.

3. Ardakanian R. 2005. Optimization the coordination of hydro and thermal plant: the HTCOM model. The International Journal on Hydropower & Dams. 12(2):49-61.
4. Cai X. McKinney D. C. and Lasdon L. S. 2001. Piece-by-piece approach to solving large nonlinear water resources management models. ASCE Journal of Water Resources and Planning. 127(6):363-368.
5. Cai X. McKinney D. C. and Lasdon L. S. 2003. Integrated hydrologic- agronomic- economic model for river basin management. ASCE Journal of Water Resources Planning and Management. 129(1):4-17.
6. Close A. Haneman W. M. Labadie J. W. Loucks D. P. Lund J. R. McKinney D. C. and Stedinger J. R. 2003. A strategic review of CALSIM II and its use for water planning, management and operation in central California. California Bay Delta Authority Science Program. Association of Bay Governments. Oakland. California. 129 pp.
7. Frevert D. Fulp T. Zagona E. Leavesley G. and Lins H. 2006. Watershed and River System Management Program: Overview of Capabilities. ASCE J. of Irrigation and Drainage Engineering. 132(2):92-97.
8. Higgins A. Archer A. and Hajkowicz S. 2008. A stochastic non-linear programming model for a multi-period water resource allocation with multiple objectives. Water Resources Management. 22:1445-1460.
9. Karimi A. and Ardakanian R. 2010. Development of a dynamic long-term water allocationm for agriculture and industry water demands. Springer. Water Resources Management. 24: 1717-1746.
10. Labadie J. W. 2004. Optimal operation of multi-reservoir systems: state-of-the-art review. ASCE Journal of Water Resources Planning & Management. 130(2):93-111.
11. Pallottino S. Sechi G. M. and Zuddas P. 2005. A DSS for water resources management under uncertainty by scenario analysis. Environmental Modeling & Software. 20:1031-1042.
12. Perera B. J. C. James B. and Kularathna M. D. U. 2005. Computer software tool REALM for sustainable water allocation and management. Journal of Environmental Management. 77:291-300.
13. Rosenthal R. E. 2006. GAMS- A User's Guide. GAMS Development Corporation. Washington DC. USA. 281 pp.
14. Salemi H. R. and Murray-Rust H. 2002. Water Supply and Demand Forecasting in the Zayandeh Rud basin. Iran. IAERI-IWMI Research Reports 13. 22 pp.
15. Schluter M. Savitsky A. G. McKinney D. C. and Lieth H. 2005. Optimizing long-term water allocation in the Amudarya River delta: a water management model for ecological impact assessment Environmental Modelling & Software. 20(5):529-545.
16. Stockholm Environment Institute. 2005. WEAP21: Water Evaluation and Planning System. 11 Arlington Street. Boston. MA 02116. USA. http://www.weap21.org.

Archive of SID

www.SID.ir