نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۷، شماره ۱، ۱۳۹۴، صفحات ۸۵-۹۷

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 7, Issue 1, 2015, Pages 85-97

توسعه مدل یکپارچه منابع آب WEAP برای مدل‌سازی شرایط خشکسالی

فاطمه میرزایی ندوشن*[1]، شهاب عراقی‌نژاد[2] و امید بزرگ‌حداد[3]

[1] کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، [2] استادیار، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران و [3] دانشیار، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۴/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۱۹

چکیده

یکی از مهم‌ترین چالش‌های بهره‌برداری از سیستم‌های مدیریت منابع آب و به‌طور خاص مخازن سطحی در رویارویی با تغییرات هیدرولوژیکی، در نظر گرفتن وقوع پدیده خشکسالی در نحوه بهره‌برداری از منابع آب است. علاوه بر تغییرات دبی نسبت به متوسط، عامل مهم دیگر تداوم پدیده خشکسالی می‌باشد. یکی از راه‌های مقابله با خشکسالی، بهره‌برداری مناسب از منابع آب در شرایط خشکسالی است. برای بهره‌برداری از منابع آب مدل‌های مختلفی مانند WEAP توسعه یافته است. اما چنین مدلی قابلیت مدل‌سازی بهره‌برداری مخازن در شرایط خشکسالی را ندارد. بنابراین، توسعه چنین امکانی در مدل WEAP برای مهندسین منابع آب بسیار حائز اهمیت است. در پژوهش حاضر امکان توسعه قوانین بهره‌برداری هجینگ در قالب نرم‌افزار WEAP مورد تحلیل قرار گرفت و برنامه‌ای الحاقی برای نرم-افزار WEAP توسعه داده شد. توسعه این مدل امکان تلفیق بهینه‌سازی و شبیه‌سازی در سطح حوزه‌های آبخیز را فراهم می‌کند. به‌منظور آزمون قابلیت‌های این برنامه الحاقی، بهره‌برداری از مخازن رودخانه گرگان‌رود مدل‌سازی شد و نتایج این مدل توسعه داده شده با نتایج مدل معمولی WEAP مقایسه شد. نتایج نشان‌دهنده افزایش کارایی نرم‌افزار WEAP در مدل‌سازی شرایط خشکسالی هیدرولوژیکی از یک درصد در سد وشمگیر تا ۳۷ درصد در سد گلستان بوده است. شایان ذکر است که مدل الحاقی به‌صورت یک مدل عمومی توسعه پیدا کرده و قابل به‌کارگیری در حوضه‌های مختلف می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌برداری از مخزن، بهینه‌سازی، شبیه‌سازی، هجینگ و WEAP

مقدمه

امروزه به‌دلیل افزایش جمعیت و گسترش بخش‌های کشاورزی، انرژی و صنعت، نیاز آبی روز به روز در حال افزایش است و با ثابت بودن آورد رودخانه‌ها و منابع آب، در تامین نیازها کمبودهایی وجود دارد و در حال افزایش نیز می‌باشد. در سال‌های اخیر مناطق مختلف جهان شاهد خشکسالی‌هایی با شدت بیشتر بوده‌اند. بنابراین برای کاهش کمبود آب و اثرات خشکسالی نیاز به بیشینه استفاده از منابع و مدیریت بهره‌برداری از مخازن موجود است. به‌طور کلی مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب دارای سه هدف اصلی است که عبارتند از: ۱- تامین نیاز پایه آب، ۲- افزایش کارایی اقتصادی مصرف آب، ۳- حفظ محیط زیست (Mays، ۱۹۹۶). منظور از نیاز پایه، نیاز شرب،

* مسئول مکاتبات: nodoushan_m@ut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

شهری و روستایی است و اولین هدف در برنامه‌ریزی منابع آب تامین این نیاز است. در هدف دوم، تصمیم-گیرنده به‌دنبال بالابردن سود اقتصادی حاصل از تخصیص آب به مصارف مختلف است. هدف سوم که تامین نیاز زیست‌محیطی است، اخیرا به اهداف مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب اضافه شده است، به‌طوری‌که به‌عنوان نیاز پایه در نظر گرفته می‌شود.

در برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب، در مواقع خشکسالی و کم آبی سعی می‌شود تا سر حد امکان نیاز پایه تامین شود. اما در هدف دوم که بالا بردن سود اقتصادی است، هنگام وقوع خشکسالی و کم آبی، سعی در مدیریت صحیح مخازن آب و پخش کمبود آب در طول دوره بهره‌برداری است. در واقع با این کار خشکسالی‌های با تداوم کم اما شدت بالا به خشکسالی‌هایی با تداوم بیشتر اما شدت کمتر تبدیل می‌شوند و در نتیجه مجموع خسارت ناشی از خشکسالی در حالت دوم کمتر از حالت اول خواهد بود.

روش‌های مختلفی برای بهره‌برداری از منابع آب وجود دارد. در بهره‌برداری از منابع آب در شرایط خشکسالی، یک روش مدیریتی استفاده از قوانین محدودکننده[1] است (Bower و همکاران، ۱۹۶۶). این قوانین محدودکننده در واقع دستورالعملی برای بهره-برداری از مخازن و تعیین مقدار خروجی از منابع آب است (Lund و Guzman، ۱۹۹۶ و ۱۹۹۹؛ Bower و همکاران، ۱۹۶۶). باید اضافه کرد که Hashimoto و همکاران (۱۹۸۲) نشان دادند، زمانی‌که تابع خسارت بهره‌برداری از مخزن خطی باشد، قانون بهره‌برداری استاندارد (SOP) بهترین سیاست بهره‌برداری خواهد بود. به‌عبارت دیگر، لازم است تابع خسارت، غیرخطی و محدب (تابع سود، غیرخطی و مقعر) باشد تا قوانین محدودکننده بهینه باشند. در ضمن Klemes (۱۹۷۷) نشان داد که با افزایش عدم قطعیت هیدرولوژیکی یا اقتصادی، سیاست بهره‌برداری بهینه به قانون SOP همگرا خواهد بود. در مقاله‌ای Draper و Lund (۲۰۰۴) پس از مرور کلی بر انواع قوانین محدودکننده، ثابت کردند که ارتباط آشکاری بین حجم ذخیره مخزن[2] و قانون محدودکننده بهینه وجود دارد. آن‌ها از طریق روشی تحلیلی و با استفاده از پارامترهای توابع سود خروجی و سود ذخیره‌ای، رابطه قانون محدودکننده بهینه را به‌دست آوردند. این روش تحلیلی اساس تحقیق حاضر است و از روش‌های عددی ساده‌تر می‌باشد.

برای بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم‌های منابع آب، نیاز به ابزار مدل‌سازی برای تولید تصمیمات بهره-برداری است. با وارد شدن مدل‌های منابع آب، این مدل‌ها در کنار جنبه مدیریتی منابع آب، یکی از جنبه‌های فنی برنامه‌ریزی منابع آب را شکل دادند. یکی از مدل‌های پرکاربرد در بهره‌برداری از منابع آب، مدل WEAP[3] است. مدل WEAP قابلیت مدل‌سازی بهره‌برداری در شرایط خشکسالی را ندارد. بنابراین، توسعه چنین امکانی در مدل WEAP برای مهندسین منابع آب بسیار حائز اهمیت است.

به‌طور کلی مدل‌های شبیه‌سازی واکنش سیستم را با استفاده از مشخصات مخزن، آب در دسترس، مقدار نیاز و قوانین بهره‌برداری از پیش تعیین شده، ارائه می‌دهند. در واقع این مدل‌ها قانون بهره‌برداری بهینه برای مدیریت سیستم را پیدا نمی‌کنند، بلکه لازم است، از روش‌های سعی و خطا برای پیدا کردن حالت بهینه استفاده کرد. استفاده از روشی که بتواند انعطاف‌پذیری مدل‌های شبیه‌سازی را همراه با جستجوی کارامد مدل‌های بهینه‌سازی داشته باشد، بسیار مطلوب خواهد بود. در تحقیقات پژوهش‌محور، راهکارهای مختلفی برای ترکیب شبیه‌سازی و بهینه-سازی به‌کار رفته است (Wurbs، ۱۹۹۳). به‌طور مثال Jacoby و Loucks (۱۹۷۲)، محدودیت‌ها و مزایای استفاده مشترک از این دو مدل را در مسائل برنامه-ریزی استاتیک و پویا تجزیه و تحلیل کرده‌اند.

در مورد دیگری Lund و Ferreira (۱۹۹۷)، یک شبکه جریان ارائه کردند که بر پایه مدل HEC-PRM توسط USACE یک مدل شبیه‌سازی شده برای تصحیح و آزمون قوانین بهره‌برداری به‌کار می‌رود. همین‌طور Nalbantis و Koutsoyiannis (۱۹۹۷) در

[1] Hedging

[2] Carryover Storage

[3] Water Evaluation and Planning

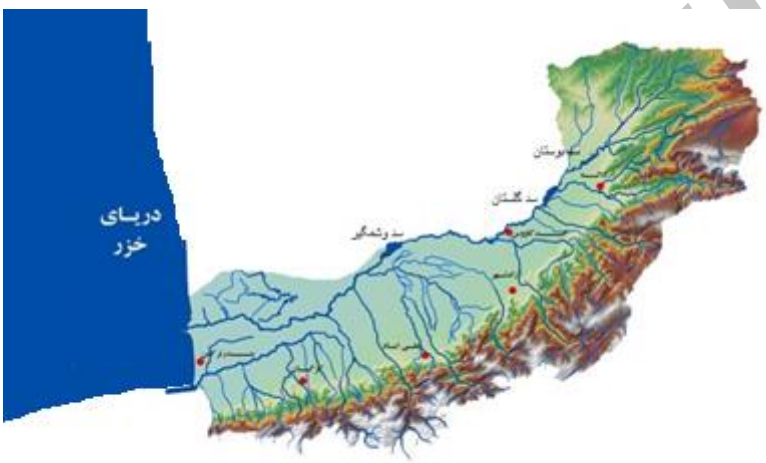
Archive of SID
www.SID.ir

تحقیق خود یک قانون پارامتری برای مخازن پیشنهاد داده و مورد آزمون قرار دادند.

مواد و روش‌ها

حوضه مورد مطالعه، حوضه گرگان‌رود-قره‌سو واقع در جنوب شرقی دریای خزر است و جزئی از حوزه آبخیز دریای خزر به شمار می‌رود. سدهای مورد بررسی، سد بوستان، گلستان و وشمگیر هستند که بر روی رودخانه گرگان‌رود به‌صورت سری قرار گرفته‌اند (شکل ۱). با استفاده از نرم‌افزار WEAP، قوانین محدودکننده در بهره‌برداری از این سه سد اعمال شد.

در مرحله بعد، پارامترهای توابع سود مورد استفاده برای به‌دست آوردن قوانین بهره‌برداری، با در نظر گرفتن سه سد به‌صورت یک مجموعه، به‌وسیله نرم-افزار Lingo بهینه شدند و برای بهره‌برداری از مخازن مورد استفاده قرار گرفتند. در تحقیق حاضر، با تلفیق مدل شبیه‌سازی WEAP و مدل بهینه‌سازی Lingo، قوانین بهره‌برداری بهینه در شرایط خشکسالی استخراج شده است. برای این کار از نرم‌افزار WEAP به‌عنوان مدل شبیه‌سازی و از نرم‌افزار Lingo برای بهینه‌سازی قوانین محدودکننده استفاده شد.



شکل ۱- حوضه گرگان‌رود-قره‌سو و محل قرارگیری سدهای مورد مطالعه

قانون بهره‌برداری استاندارد: ساده‌ترین قانون بهره-برداری از مخزن، قانون بهره‌برداری استاندارد (SOP) است. در این روش خروجی تابعی از کل آب در دسترس (حجم ذخیره شده در مخزن به‌علاوه جریان ورودی پیش‌بینی شده منهای تلفات) است. چنان‌چه آب در دسترس کمتر، یا برابر با مقدار هدف باشد، کل آب در دسترس برای تامین نیاز رها می‌شود و در صورتی‌که آب در دسترس بیشتر از نیاز باشد، مقدار آب اضافه بر نیاز ذخیره می‌شود تا جایی‌که در بیشینه ظرفیت، مخزن شروع به سرریز شدن می‌کند. در روش SOP بیشترین اولویت با رها کردن آب برای مصارف اقتصادی کنونی است.

قوانین محدودکننده: محدود کردن آب خروجی از مخزن، حتی در شرایطی که ذخیره کافی برای تامین کل نیاز وجود دارد، یک روش مدیریتی برای کاهش خسارت ناشی از خشکسالی است. با استفاده از یک قانون محدودکننده، می‌توان مشخص کرد در یک دوره چه مقدار آب به مصارف کنونی تخصیص یابد و چه مقدار آب برای مصارف محتمل آینده در مخزن ذخیره شود. هدف از قوانین محدودکننده کاهش ریسک و خسارت ناشی از کمبودهای شدید، ولی در مقابل متحمل شدن خسارات ناشی از کمبودهای بیشتر اما با شدت کمتر است.

به‌طور کلی معادله پیوستگی مخزن برای یک سیستم تک مخزنه به‌صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود.

$$S_{t+1} = S_t + I_t - R_t - E_t \qquad (۱)$$

که در آن، S_t حجم آب مخزن در ابتدای دوره زمانی t، S_{t+1} حجم آب مخزن در انتهای دوره زمانی t،

www.SID.ir

I_t ورودی مخزن، R_t خروجی از مخزن و E_t حجم تلفات در دوره زمانی t می‌باشند.

هنگام پیش‌بینی خشکسالی یا در مواقع قرار داشتن در آن باید محدودیت‌هایی برای تخصیص آب قائل شد. این محدودیت‌ها با توجه به میزان آب در دسترس و بر اساس محرک‌هایی که وضعیت قرار داشتن در شرایط خشکسالی را اعلام می‌کنند، به‌صورت قوانینی قابل بیان هستند که همان قوانین محدودکننده هستند.

در بهره‌برداری با استفاده از قوانین محدودکننده، در هر مرحله از تصمیم‌گیری برای بهره‌برداری، چهار حالت را برای خروج آب می‌توان در نظر گرفت، خروج کل آب در دسترس، خروج آب به‌صورت کسری از نیاز پایین‌دست، خروج به میزان برابر با نیاز پایین‌دست و خروج آب بیش از نیاز آبی پایین‌دست. اعمال هر کدام از این گزینه‌ها بر اساس محرک‌هایی که با توجه به سه متغیر حجم مخزن، ورودی و نیاز محاسبه شده‌اند، صورت می‌گیرد. بر اساس قوانین محدودکننده، در ابتدای هر بازه زمانی t، مقدار خروجی از مخزن با توجه به محرک‌های خشکسالی به‌وسیله روابط زیر قابل بیان است.

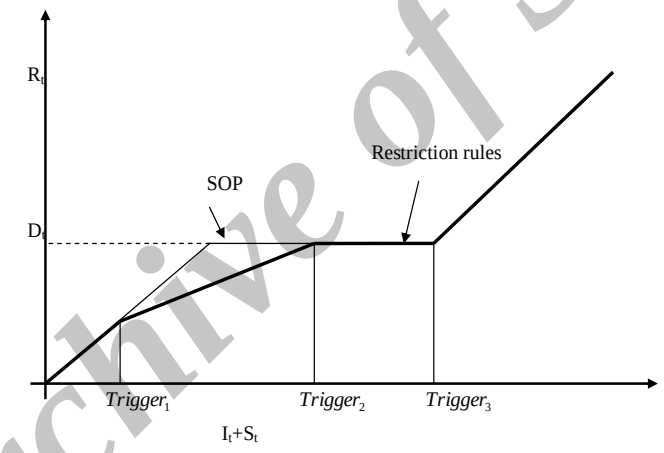
اگر $S_t + I_t < Trigger_{1t}$ آنگاه $R_t = I_t + S_t$

اگر $Trigger_{1t} < S_t + I_t < Trigger_{2t}$ آنگاه $R_t < D_t$

اگر $Trigger_{2t} \le S_t + I_t < Trigger_{at}$ آنگاه $R_t = D_t$

اگر $Trigger_{at} \le S_t + I_t$ آنگاه $R_t > D_t$

که در آن‌ها، D_t نیاز آبی در زمان t و $Trigger_{it}$ محرک‌های خشکسالی هستند. در شکل ۲ ارتباط بین محرک‌های اقلیمی و حالت‌های خاص بهره‌برداری نشان داده شده است.



شکل ۲- منحنی فرمان قوانین محدودکننده با توجه به شاخص‌ها و محرک‌های خشکسالی (Draper و Lund، ۲۰۰۴)

محاسبه محرک‌های خشکسالی: توسط Draper و Lund (۲۰۰۴) روشی تحلیلی برای تعیین مقدار ذخیره بهینه و تخصیص در هر دوره بهره‌برداری ارائه شد. آن‌ها نشان دادند که نحوه بهره‌برداری از مخزن باید به گونه‌ای باشد که مجموع سود حاصل از خروجی و حجم مخزن در پایان هر دوره بیشینه شود، این شرایط را می‌توان به‌طور خلاصه به‌صورت زیر بیان کرد.

$$Maxz = B(R) + C(S) \quad (۲)$$

و محدودیت‌های اصلی بهره‌برداری در روابط (۳) تا (۶) آمده است و عبارتند از:

$$S + I = A \quad (۳)$$

$$S \ge 0 \quad (۴)$$

$$S \le Cap \quad (۵)$$

$$R \ge 0 \quad (۶)$$

که در آن‌ها، $B(R)$ سود حاصل از رهاسازی آب، $C(S)$ پتانسیل سود ذخیره‌سازی آب، A مجموع آب در دسترس برای دوره بهره‌برداری آتی شامل حجم ذخیره موجود (S) و آوردهای آینده (I) و Cap ظرفیت مخزن می‌باشند. روابط گفته شده تنها زمانی کاربرد خواهند داشت که مجموع حجم مخزن به‌علاوه

Archive of SID
www.SID.ir

حجم آورد پیش‌بینی شده (A) از مجموع ظرفیت مخزن و نیاز کمتر باشد.

در رابطه (۲) توابع B(R) و C(S) هر تابع پیوسته-ای می‌توانند باشند. چنانچه B(R) یک تابع خطی باشد، قوانین محدودکننده دیگر بهینه نبوده و از قانون SOP به‌عنوان قانون بهینه استفاده می‌شود. در صورتی‌که توابع B(R) و C(S) هر دو توابع درجه دوم و به‌صورت $B(R) = a_r + b_r R + c_r R^2$ و $C(S) = a_s + b_s S + c_s S^2$ در نظر گرفته شوند، با حل رابطه (۲) با استفاده از روش ضرائب لاگرانژ، خروجی بهینه R^* به‌صورت تابعی از آب در دسترس (A) طبق رابطه (۷) به‌دست می‌آید.

$$R^* = \frac{b_s - b_r + 2c_s(S_t + I_t)}{2(c_s + c_r)} \qquad (۷)$$

این فرم از قانون محدودکننده خطی تنها زمانی کاربرد خواهد داشت که قیود گفته شده در روابط (۳) الی (۶) برقرار باشند. بنابراین با در نظر گرفتن محدودیت بیلان آب و محدودیت‌های حجم کمینه و بیشینه مخزن، محرک‌های خشکسالی به‌صورت روابط (۸) الی (۱۰) به‌دست می‌آیند.

$$Trigger_{1t} = (b_s - b_r)/(2c_r) \qquad (۸)$$

$$Trigger_{2t} = Min\begin{bmatrix} D_t(1+\frac{c_r}{c_s}) + \frac{b_r - b_s}{2c_s}, \\ Cap(1+\frac{c_s}{c_r}) + \frac{b_s - b_r}{2c_r} \end{bmatrix} \qquad (۹)$$

$$Trigger_{at} = D_t + Cap \qquad (۱۰)$$

خروجی بهینه زمانی از رابطه (۷) محاسبه می‌شود که آب در دسترس (A)، کمتر از $Trigger_{2t}$ و بیش از $Trigger_{1t}$ باشد. با استفاده از روابط (۸) الی (۱۰) فرم کلی قانون محدودکننده نشان داده شده در شکل ۲ به‌دست می‌آید، که قوانین محدودکننده دونقطه‌ای[1] نامیده می‌شود. از مقایسه آب در دسترس با این محرک‌ها، میزان خروجی و ذخیره بهینه در هر دوره را می‌توان محاسبه کرد. تعیین مقادیر محرک‌های خشکسالی و خروجی بهینه از روابط فوق، منوط به-وجود توابع سود خروجی و ذخیره می‌باشد. تعیین و یافتن چنین توابعی می‌تواند آسان‌تر از تعیین مستقیم قوانین محدودکننده باشد و با توجه به امکان استفاده از آن در زمان واقعی، به واقعیت نیز نزدیک‌تر خواهد بود.

لازم به‌ذکر است با توجه به این‌که به‌دست آوردن توابع سود اقتصادی و سود ذخیره‌ای مربوط به هر سد، نیازمند اطلاعات وسیعی از خشکسالی‌های رخ داده در طول بهره‌برداری از سد و خسارات ناشی از خشکسالی بوده و خود تحقیقات وسیعی را می‌طلبد، در این تحقیق این توابع به‌صورت فرضی در نظر گرفته شده‌اند.

بهره‌برداری از مخزن: در این تحقیق سه روش برای بهره‌برداری از مخزن در طول دوره آماری مورد استفاده قرار گرفته است. در روش اول پس از تهیه پیکربندی سیستم منابع آب منطقه مورد مطالعه در نرم‌افزار WEAP، مدل به‌صورت ساده اجرا شد. در روش دوم با استفاده از برنامه‌ای الحاقی که در داخل نرم‌افزار WEAP نوشته و تهیه شده است، قوانین محدودکننده در بهره‌برداری از مخزن اعمال شد و روش مدل هجینگ تک سدی نامیده شد. در روش سوم، با هدف افزایش سود اقتصادی حاصل از بهره-برداری از مجموع سدهای منطقه مورد مطالعه، همه سدها به‌صورت یک مجموعه در نظر گرفته شده و پارامترهای اقتصادی آن‌ها به‌وسیله نرم‌افزار Lingo بهینه شد. در نهایت با استفاده از برنامه الحاقی و پارامترهای جدید، مدل اجرا شد. این روش نیز، روش هجینگ چندسدی نامیده شد.

شبیه‌سازی به‌وسیله مدل WEAP: مدل WEAP یک ابزار شبیه‌سازی منابع آب سطحی و زیرزمینی بر پایه معادلات بیلان آب است که می‌تواند مجموعه متناوبی از شرایط تامین و تقاضا را در طول افق برنامه‌ریزی بلندمدت بی‌آزماید. همان‌طور که اشاره شد، در مدل WEAP از قانون بهره‌برداری استاندارد (SOP) برای تعیین مقدار خروجی از مخزن در هر دوره استفاده شده است.

مدل توسعه داده شده: در مدل توسعه داده شده تحقیق حاضر، در سیستم تصمیم‌گیری نرم‌افزار WEAP یک ماجول خشکسالی توسعه داده شد که بهره‌برداری از مخزن را بر اساس قوانین محدودکننده تعیین می‌کند. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می-شود، در نرم‌افزار WEAP یک ماجول جدید با نام

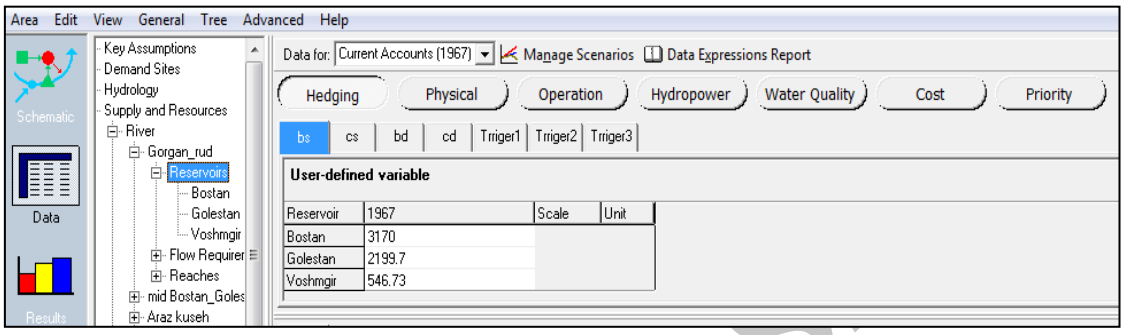
[1] Two-Point Hedging Rules

Archive of SID

www.SID.ir

Hedging به ماجول‌های تعریف شده برای هر سد، اضافه شده است.

در این قسمت، متغیرهای مربوط به توابع سود و همچنین، محرک‌های خشکسالی تعریف شده‌اند. b_s و c_s پارامترهای تابع سود ذخیره‌ای سد، b_d و c_d پارامترهای تابع سود خروجی سد و $Trriger_1$، $Trriger_2$ و $Trriger_3$ محرک‌های خشکسالی مربوط به قوانین محدودکننده هستند. پارامترهای توابع سود به‌وسیله کاربر در نرم‌افزار وارد می‌شود. مدل با استفاده از این پارامترها و اجرای برنامه الحاقی، محرک‌های خشکسالی برای هر سد را با توجه به پارامترهای سود وارد شده، میزان نیاز و ظرفیت ذخیره هر سد، به‌صورت ماهانه محاسبه می‌کند.



شکل ۳- ماجول جدید خشکسالی اضافه شده به نرم‌افزار WEAP با نام Hedging

بهینه‌سازی به‌وسیله Lingo: برای بهینه‌سازی پارامترهای توابع سود سدهای مورد مطالعه، از نرم‌افزار بهینه‌سازی Lingo استفاده شد. برای این منظور مقادیر جریان ورودی ماهانه به هر سد در یک دوره ۱۰ساله، مقدار نیازها به‌صورت ماهانه و ظرفیت مخزن‌ها، به‌عنوان داده‌های ورودی وارد شدند. روابط (۱۱) الی (۱۳) نیز به‌عنوان محدودیت‌ها در برنامه تعریف شدند.

$$S_{t+1} = S_t + I_t - R_t - E_t - Spill_t \qquad (۱۱)$$

$$0 \le S \le Cap \qquad (۱۲)$$

$$0 \le R_t \le D_t \qquad (۱۳)$$

که در آن‌ها، S_t حجم مخزن در ابتدای دوره زمانی t، S_{t+1} حجم مخزن درانتهای دوره زمانی t، I_t ورودی مخزن، R_t خروجی از مخزن، E_t حجم تلفات و $Spill_t$ سرریز از سد در دوره زمانی t و Cap ظرفیت مخزن می‌باشند. تابع هدف تعریف شده برای این مسئله به‌صورت رابطه (۱۴) است که برابر با مجموع سود اقتصادی حاصل از تخصیص در طول دوره آماری برای مجموعه سدهای منطقه مورد مطالعه است.

$$Max\ z = \sum_{i=1}^{n}\sum_{m=1}^{12}(b_{ir}R_{im} + c_{ir}R_{im}^2) \qquad (۱۴)$$

که در آن، n تعداد سدهای سیستم منابع آب مورد بررسی، m ماه مورد نظر، b_{ir} و c_{ir} پارامترهای تابع سود خروجی برای سد iام و R_{im} خروجی از سد iام در ماه mام است.

پس از اجرای برنامه نوشته شده در نرم‌افزار Lingo، مقدار آب خروجی بهینه از سدها در هر ماه محاسبه می‌شود. با برازش منحنی درجه دوم بر این خروجی‌های بهینه به‌دست آمده، می‌توان پارامترهای بهینه توابع سود خروجی و سود ذخیره‌ای را به‌دست آورد. با استفاده از این روش، انتظار می‌رود میزان خسارت ناشی از خشکسالی حاصل از مجموعه سه سد به‌طور همزمان، از مجموع خسارت ناشی از سه سد در دو روش دیگر، کمتر باشد.

معیارهای ارزیابی عملکرد بهره‌برداری: به‌منظور بررسی کارایی الگوریتم مربوط به قوانین محدودکننده و مقایسه آن با الگوریتم‌های دیگر، لازم به استفاده از معیارهایی برای ارزیابی خشکسالی می‌باشد. در این تحقیق از معیارهای تداوم، شدت و میزان سود حاصل از خشکسالی استفاده شده است. معیارهای تداوم و شدت خشکسالی توسط Hashimoto و همکاران (۱۹۸۲) معرفی شده است که به‌صورت زیر می‌باشند.

Archive of SID
www.SID.ir

الف: تداوم خشکسالی (Drought Duration): تعداد سال‌های خشک متوالی به‌عنوان تداوم خشکسالی تعریف می‌شود.

ب: شدت خشکسالی (Drought Severity): این معیار برابر با مقدار کمبود آب در طول سال‌های خشک متوالی است که به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$Severity_t = \sum^{F}(D_t - R_t) \qquad (۱۵)$$

که در آن، R_t خروجی در دوره t و D_t مقدار آب مورد نیاز نقطه مصرف در دوره t است.

ج: سود اقتصادی: علاوه بر دو معیار گفته شده در بالا، برای مقایسه دو مدل می‌توان خسارت خشکسالی وارد شده در هر نقطه نیاز را به‌عنوان معیاری برای مقایسه مدل‌های مختلف استفاده کرد. با توجه به این که در این تحقیق از توابع سود اقتصادی استفاده شده است، سود اقتصادی برای ارزیابی مدل‌ها استفاده شد، به‌طوری‌که هرچه سود اقتصادی بیشتر باشد، نشان‌دهنده کمتر بودن خسارت وارده است. برای محاسبه سود اقتصادی حاصل از تخصیص در هر سد، از رابطه (۱۶) استفاده شد.

$$z = \sum_{m=1}^{12}[(b_r R_m + c_r R_m^2) + (b_s S_m + c_s S_m^2)] \qquad (۱۶)$$

که در آن، b_r و c_r ضرایب تابع سود خروجی، b_s و c_s ضرایب تابع سود ذخیره ای، R_m مقدار خروجی ماهانه و S_m حجم ذخیره مخزن در هر دوره می‌باشند.

برای تهیه پیکربندی سامانه منابع آب حوضه گرگان‌رود، لازم است تمام اجزای سامانه منابع آب حوضه، از جمله رودخانه‌ها، سدها و نقاط نیاز در نرم‌افزار Weap تعریف شده و داده‌ها مربوط به هر کدام وارد شود. در جداول ۱ و ۲ داده‌های مربوط به نیاز ماهانه در نقاط تقاضای موجود در حوضه و اولویت تخصیص مربوط به هر کدام آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار تقاضا در بهار و تابستان که مربوط به ماه‌های مارس تا آگوست می‌باشد، نسبت به ماه‌های دیگر بیشتر است و بالاترین اولویت تخصیص به نیاز زیست محیطی تعلق دارد.

جدول ۱- نیاز ماهانه نقاط مصرف سه سد مورد مطالعه (میلیون مترمکعب)

نقاط مصرف	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	اولویت تخصیص
نیاز کشاورزی سد بوستان	۰	۰/۳۲	۱/۳۰	۳/۰۵	۴/۴۹	۳/۱۰	۴/۹۱	۵/۴۴	۴/۰۹	۰/۶۹	۱/۶۵	۰	۱۲
نیاز آبزی‌پروری سد بوستان	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۱۲
مصارف بوستان	۱/۱۵	۰/۶۲	۱/۱۲	۲/۹۶	۵/۵۶	۶/۴۵	۸/۳۰	۸/۲۲	۵/۴۳	۱/۶۹	۰/۷۸	۰/۸۱	۱۴
نیاز کشاورزی سد گلستان	۰	۰/۹۶	۳/۸۹	۷/۷۷	۱۰/۹۳	۹/۷۷	۱۳/۸۸	۱۲/۳۹	۵/۳۲	۲/۰۶	۴/۹۶	۰	۱۵
نیاز آبزی‌پروری سد گلستان	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۱۵
مصارف گلستان	۶/۸۳	۸/۹۹	۱۱/۵۰	۱۰/۸۱	۱۰/۱۷	۶/۷۷	۱۰/۶۳	۱۰/۵۸	۶/۵۲	۵/۴۱	۸/۰۳	۳/۹۳	۱۵
انتقال به سد وشمگیر	۰	۰	۰	۰	۰	۱۲/۵۰	۱۲/۵۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۵
نیاز کشاورزی سد وشمگیر	۰	۱/۱۶	۴/۶۸	۱۰/۰۱	۱۳/۲۳	۷/۴۳	۱۱/۷۹	۱۳/۲۰	۱۰/۲۱	۰	۲/۵۵	۵/۷۶	۱۵
نیاز آبزی‌پروری سد وشمگیر	۰/۲۵	۷/۲۵	۷/۲۵	۶/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۱۵

جدول ۲- نیازهای زیست محیطی مربوط به سدها (مترمکعب بر ثانیه)

نیاز زیست محیطی	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	اولویت
سد بوستان	۰/۴۳	۰/۴۲	۰/۷۴	۱/۳۳	۱/۳۳	۱/۳۳	۱/۳۳	۱/۳۳	۱/۰۹	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۳	۱
سد گلستان	۲/۱۶	۲/۱۴	۳/۷۳	۶/۷۰	۶/۷۰	۶/۷۰	۶/۷۰	۶/۷۰	۵/۴۹	۲/۱۶	۲/۱۶	۲/۱۶	۱
سد وشمگیر	۳/۷۸	۳/۷۴	۶/۳۷	۱۱/۳۰	۱۱/۳۰	۱۱/۳۰	۱۱/۳۰	۱۱/۳۰	۹/۲۹	۳/۷۸	۳/۷۸	۳/۷۸	۱

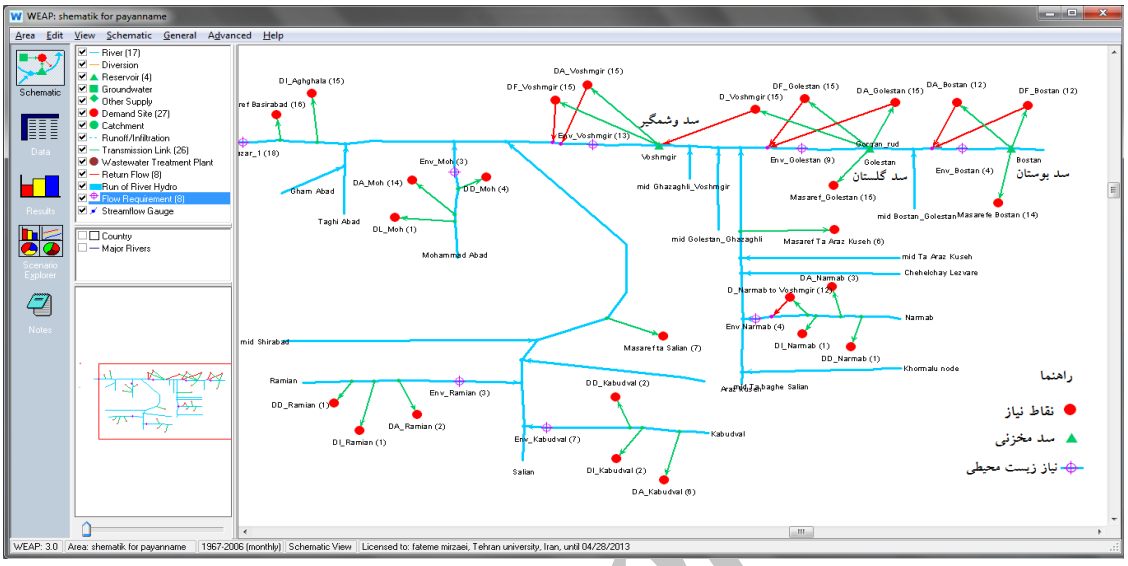
Archive of SID

www.SID.ir

نتایج و بحث

مدل‌سازی فیزیکی در WEAP: برای مدل‌سازی حوضه گرگان‌رود در نرم‌افزار Weap، ابتدا پیکربندی سامانه منابع آب حوضه که شامل رودخانه‌ها، سدها، نقاط مصرف و خطوط انتقال است، رسم می‌شود و سپس داده‌های مربوط به هر کدام از این اجزا در نرم‌افزار وارد می‌شوند.

شکل ۴ پیکربندی سامانه منابع آب حوضه گرگان-رود را که در نرم‌افزار Weap تهیه شده است، نشان می‌دهد.



شکل ۴- پیکربندی سامانه منابع آب حوضه گرگان‌رود، تهیه شده در نرم‌افزار WEAP

مقایسه نتایج سه روش: برای مقایسه سه روش ویپ رایج، هجینگ تک‌سدی و هجینگ چندسدی، شاخص‌های تداوم خشکسالی و شدت خشکسالی برای نقاط مصرف مربوط به هر سد و سود اقتصادی حاصل از تخصیص کل برای هر سد محاسبه شد. در جدول‌های ۳ الی ۵ شاخص‌های خشکسالی محاسبه شده در هر روش ارائه شده است.

همان‌طور که در جداول ۳ و ۴ مشاهده می‌شود، نتایج معیارهای به‌دست آمده در ستون‌های ۴ و ۶ در نیاز زیست محیطی دو سد بوستان و گلستان و وشمگیر که دارای اولویت اول هستند، در روش تک سدی نسبت به روش ویپ رایج مطلوب‌تر است. به‌طور مثال مقدار بیشترین شدت خشکسالی روش تک سدی در ستون چهارم، در نیاز زیست محیطی سد بوستان ۱۵ درصد، در نیاز زیست‌محیطی سد گلستان ۳۷ درصد و در نیاز زیست محیطی سد وشمگیر یک درصد بهبود یافته است. اما در نقاط مصرف دیگر که در اولویت بعدی قرار می‌گیرند، بیشترین شدت خشکسالی در روش ویپ رایج کمتر از روش تک سدی به‌دست آمده است. برای محاسبه میزان سود اقتصادی حاصل از تخصیص هر سد در روش ویپ رایج، از توابع هدف روش تک‌سدی و روش چندسدی به‌طور جداگانه استفاده شده است که در دو ستون آخر جدول ۳ ارائه شده‌اند. سود اقتصادی حاصل از تخصیص در روش ویپ رایج برای سدهای بوستان، گلستان و وشمگیر به‌ترتیب برابر با ۲/۹۴، ۱۵/۶۲ و ۱۲/۰۲ و در روش هجینگ تک سدی برابر با ۷/۷۷، ۲۶/۲۱ و ۱۴/۹۳ است که نشان‌دهنده بهبود نتایج در روش هجینگ تک‌سدی است. در جدول ۵ نتایج حاصل از روش هجینگ چندسدی آورده شده است. مقدار بیشترین شدت خشکسالی نیاز زیست محیطی روش چندسدی در سدهای بوستان، گلستان و وشمگیر به‌ترتیب هشت، ۲۰ و ۳۹ درصد کمتر از روش ویپ رایج شده است. این مقادیر در روش چندسدی نسبت به روش تک‌سدی تنها در نیاز زیست محیطی سد وشمگیر ۳۸ درصد کاهش داشته است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- شاخص‌های خشکسالی محاسبه شده در حالت ویپ رایج

(۱) نام سد	(۲) نقاط مصرف	(۳) بیشترین تداوم خشکسالی (ماه)	(۴) بیشترین شدت خشکسالی (میلیون مترمکعب)	(۵) مجموع تداوم خشکسالی (ماه)	(۶) سود اقتصادی کل	(۷) اطمینان پذیری (٪)	سود اقتصادی کل (۸) پارامترهای تک سدی	سود اقتصادی کل (۹) پارامترهای چندسدی
سد بوستان	نیاز آبی‌پروری	۲۳	۳/۶۶	۲۵۷	۴۶/۰۵	۴۶/۴۶	۲/۹۴	۱۴/۸۸
	نیازهای کشاورزی	۱۰	۲۶/۷۹	۲۵۳	۷۲۷/۶۵	۴۷/۲۹		
	مصارف بوستان	۲۳	۶۰/۲۲	۲۶۷	۱۱۱۹/۶۱	۴۴/۳۷		
	نیاز محیط زیست	۶	۱۳/۱۰	۱۲۲	۲۵۳/۹۱	۷۴/۵۸		
سد گلستان	نیازهای کشاورزی	۸	۵۷/۸۲	۱۹۴	۱۲۹۲/۱۶	۵۹/۵۸	۱۵/۶۲	۴۰/۳۹
	نیاز آبی‌پروری	۱۶	۲/۰۲	۲۰۶	۲۵/۳۵	۵۷/۰۸		
	مصارف گلستان	۱۶	۱۰۷/۵۷	۲۰۸	۱۲۸۶/۳۶	۵۶/۶۷		
	انتقال به سد وشمگیر	۲	۲۵/۰۰	۵۲	۵۲۷/۲۸	۸۹/۱۷		
	نیاز محیط زیست	۵	۳۳/۲۷	۸۵	۵۰۳/۹۰	۸۲/۲۹		
سد وشمگیر	نیازهای کشاورزی	۵	۴۲/۶۳	۷۲	۶۷۵/۸۵	۸۵/۰۰	۱۲/۰۲	۱۱/۸۵
	نیاز آبی‌پروری	۵	۳/۱۷	۷۲	۱۸/۶۶	۸۵/۰۰		
	نیاز محیط زیست	۳	۲۳/۳۰	۴۱	۱۸۹/۰۳	۹۱/۴۶		

جدول ۴ - شاخص های خشکسالی محاسبه شده در روش هجینگ تک‌سدی

(۱) نام سد	(۲) نقاط مصرف	(۳) بیشترین تداوم خشکسالی (ماه)	(۴) بیشترین شدت خشکسالی (میلیون مترمکعب)	(۵) مجموع تداوم خشکسالی (ماه)	(۶) سود اقتصادی کل	(۷) اطمینان پذیری (٪)	(۸) سود اقتصادی کل
سد بوستان	نیاز آبی‌پروری	۳۴	۶/۳۲	۳۳۱	۵۷/۴۱	۳۱/۰۴	۷/۷۷
	نیازهای کشاورزی	۱۰	۲۸/۰۸	۳۰۷	۸۳۱/۵۰	۳۶/۰۴	
	مصارف بوستان	۳۴	۱۱۲/۷۴	۳۳۱	۱۲۴۳/۲۶	۳۱/۰۴	
	نیاز محیط زیست	۶	۱۱/۱۷	۸۱	۸۰/۵۷	۸۳/۱۲	
سد گلستان	نیازهای کشاورزی	۱۰	۶۲/۶۱	۲۷۱	۱۶۲۰/۹۰	۴۳/۵۴	۲۶/۲۱
	نیاز آبی‌پروری	۲۰	۲/۲۲	۲۹۰	۳۱/۰۳	۳۹/۵۸	
	مصارف گلستان	۲۰	۱۲۲/۱۸	۲۹۰	۱۶۱۵/۵۷	۳۹/۵۸	
	انتقال به سد وشمگیر	۲	۲۵/۰۰	۷۸	۷۳۵/۷۴	۸۳/۷۵	
	نیاز محیط زیست	۴	۲۱/۰۷	۶۲	۱۹۴/۲۰	۸۷/۱۰	
سد وشمگیر	نیازهای کشاورزی	۷	۵۶/۸۴	۱۶۶	۱۳۴۰/۳۵	۶۵/۴۲	۱۴/۹۳
	نیاز آبی‌پروری	۷	۵/۶۴	۱۶۶	۵۷/۳۳	۶۵/۴۲	
	نیاز محیط زیست	۴	۲۳/۰۳	۵۴	۱۶۵/۹۸	۸۸/۷۵	

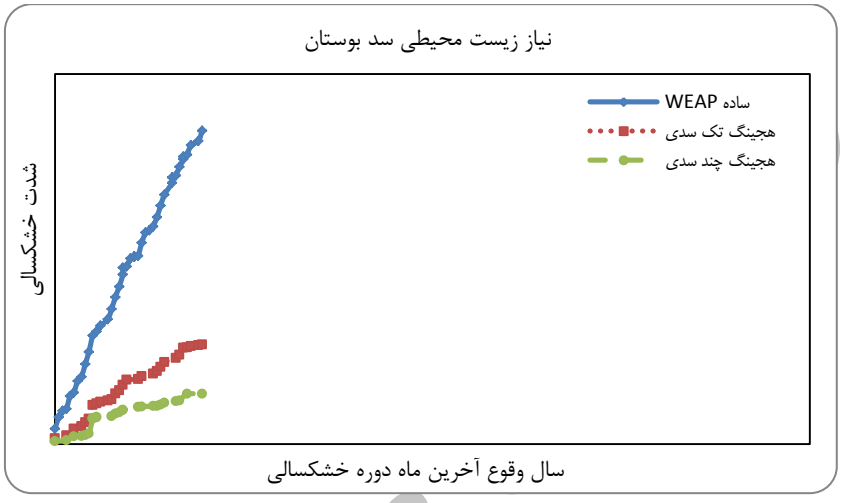
جدول ۵ - شاخص های خشکسالی محاسبه شده در روش هجینگ چندسدی

(۱) نام سد	(۲) نقاط مصرف	(۳) بیشترین تداوم خشکسالی (ماه)	(۴) بیشترین شدت خشکسالی (میلیون مترمکعب)	(۵) مجموع تداوم خشکسالی (ماه)	(۶) سود اقتصادی کل	(۷) اطمینان پذیری (درصد)	(۸) سود اقتصادی کل
سد بوستان	نیاز آبی‌پروری	۳۵	۵/۹۲	۳۵۹	۵۹/۸۳	۲۵/۲۰	۴۱/۰۴۴
	نیازهای کشاورزی	۱۰	۲۷/۷۴	۳۳۸	۸۵۹/۷۹	۲۹/۵۸	
	مصارف بوستان	۳۵	۱۱۱/۶۲	۳۵۹	۱۲۵۳/۸۴	۲۵/۲۰	
	نیاز محیط زیست	۶	۱۱/۹۹	۵۳	۴۰/۴۳	۸۸/۹۵	
سد گلستان	نیازهای کشاورزی	۱۰	۵۴/۹۴	۲۸۴	۱۴۱۹/۸۹	۴۰/۸۳	۶۹/۴۴۲
	نیاز آبی‌پروری	۳۹	۴/۴۸	۳۴۴	۴۰/۰۴	۲۶/۶۷	
	مصارف گلستان	۳۹	۲۱۶/۶۴	۳۵۲	۱۸۳۱/۶۱	۲۶/۶۷	
	انتقال به سد وشمگیر	۲	۲۳/۳۶	۵۸	۴۶۸/۲۳	۸۷/۹۲	
	نیاز محیط زیست	۷	۲۶/۶۴	۱۰۳	۳۹۶/۷۷	۷۸/۵۴	
سد وشمگیر	نیازهای کشاورزی	۵	۴۴/۸۹	۱۱۱	۸۰۶/۳۵	۷۶/۸۷	۱۳/۷۹
	نیاز آبی‌پروری	۵	۳/۷۶	۱۱۱	۲۵/۹۱	۷۶/۸۷	
	نیاز محیط زیست	۴	۱۴/۲۳	۴۱	۱۱۰/۶۳	۹۱/۴۶	

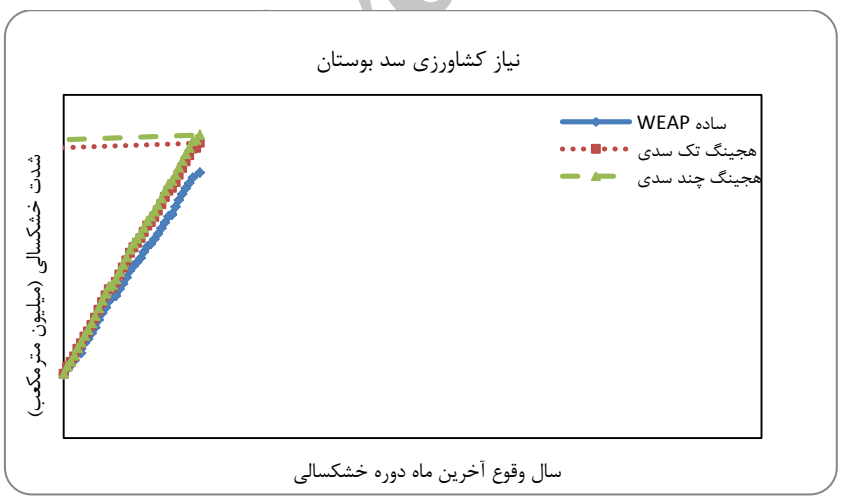
Archive of SID

www.SID.ir

با توجه به متفاوت بودن توابع هدف دو روش تک‌سدی و چندسدی، معیار سود اقتصادی در این دو روش با یکدیگر قابل مقایسه نیستند. در روش چندسدی، با توجه به این‌که هدف بیشینه کردن سود حاصل از مجموع سه سد بوده است، مقدار مجموع سود اقتصادی سه سد مورد مقایسه قرار می‌گیرد، که این مقدار در روش ویپ رایج برابر با ۶۷/۱۲ و در روش چندسدی برابر با ۱۲۴/۲۸ است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، نتیجه به‌دست آمده در روش چندسدی ۱/۸ برابر شده است. لازم به ذکر است که سود حاصل از تخصیص در هر سد به‌صورت جداگانه نیز در روش چندسدی بالاتر است. در شکل‌های ۵ الی ۸ نمودار تغییرات شدت خشکسالی در نیاز زیست محیطی و نیاز کشاورزی دو سد بوستان و گلستان به‌عنوان نمونه ارائه شده است.



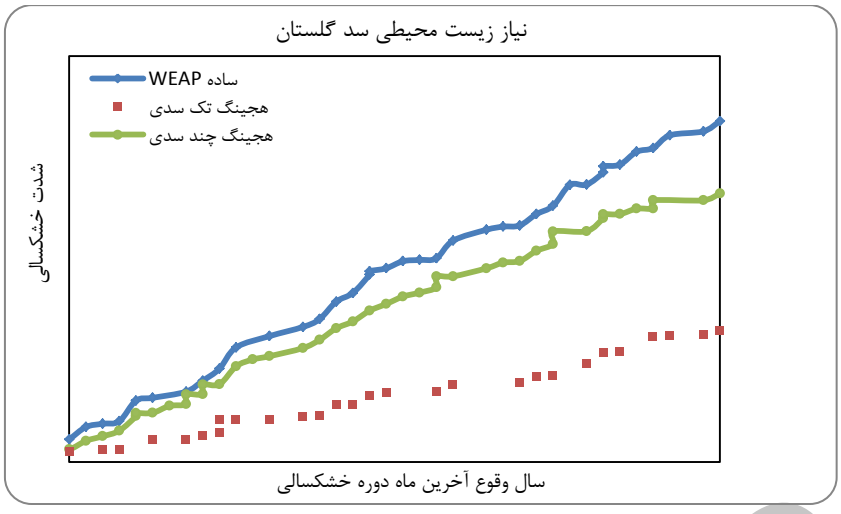
شکل ۵- نمودار تجمعی شدت خشکسالی حاصل از بهره‌برداری به‌وسیله سه روش مورد بررسی در نیاز محیط زیست سد بوستان



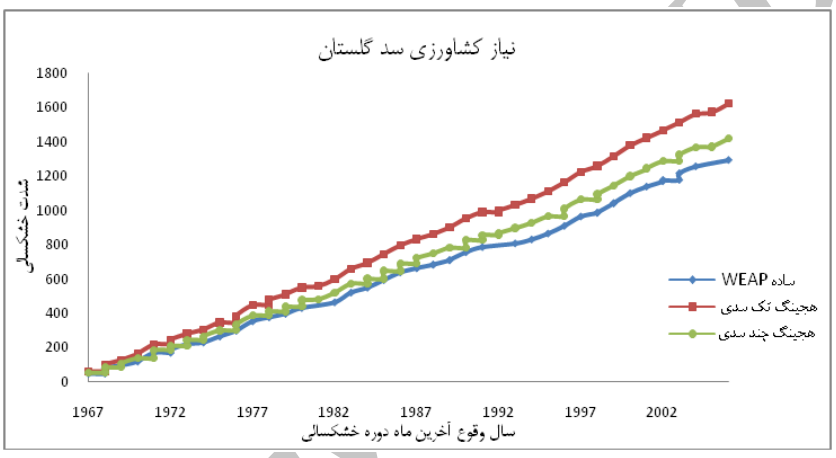
شکل ۶- نمودار تجمعی شدت خشکسالی حاصل از بهره‌برداری توسط سه روش مورد بررسی در نیاز کشاورزی سد بوستان

در نمودار تجمعی شکل ۵ روند شدت خشکسالی-های رخ داده در نیاز زیست محیطی سد بوستان نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود نمودار روش چندسدی و تک‌سدی زیر نمودار روش ویپ رایج قرار گرفته‌اند و روند مطلوب‌تری نسبت به روش ویپ ساده نشان می‌دهند. در نمودار شکل ۶ خشکسالی‌های رخ داده در روش ویپ ساده روند مطلوب‌تری را نشان می‌دهند.

www.SID.ir



شکل ۷- نمودار تجمعی شدت خشکسالی حاصل از بهره‌برداری به‌وسیله سه روش مورد بررسی در نیاز محیط زیست سد گلستان



شکل ۸- نمودار تجمعی شدت خشکسالی حاصل از بهره‌برداری به‌وسیله سه روش مورد بررسی در نیاز کشاورزی سد گلستان

در شکل ۷ روند خشکسالی‌های رخ داده در روش تک‌سدی مطلوب‌تر از دو روش دیگر است، به‌طوری‌که خشکسالی‌های کمتری با شدت‌های کمتر رخ داده است. اما در شکل ۸ روند نمودار مربوط به روش تک-سدی خشکسالی‌های با شدت بیشتری نسبت به دو روش دیگر نشان می‌دهد که علت این امر ثابت بودن مقدار آب و تخصیص آب به نیازهای با اولویت بالاتر است.

در برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب، مدل‌های منابع آب موجود نقشی کاربردی و مهم را ایفا می‌کنند. یکی از مدل‌های پرکاربرد در شبیه‌سازی سیستم‌های منابع آب، مدل Weap است که از کاربردهای آن شبیه‌سازی بهره‌برداری از مخازن در طول دوره آماری مورد نظر است. قانون بهره‌برداری مورد استفاده در این مدل، قانون بهره‌برداری استاندارد (SOP) است. استفاده از قانون بهره‌برداری استاندارد (SOP) در تعیین مقدار خروجی از مخزن هر دوره در این مدل، باعث شده است که مدل Weap به دوره‌های خشکسالی و پارامترهای اقتصادی غیرحساس باشد. در تحقیق حاضر با ایجاد تغییر در قوانین بهره‌برداری از مخزن سعی شده است، خسارات ناشی از خشکسالی کاهش یابد و سود اقتصادی حاصل از تخصیص در طول دوره بهره‌برداری افزایش داده شود. برای تغییر در قوانین بهره‌برداری مدل، یک برنامه الحاقی در نرم‌افزار Weap توسعه داده شد. این برنامه برای بهره‌برداری از مخزن، قوانین هجینگ را اعمال می‌کند. قوانین هجینگ با ایجاد محدودیت در تخصیص، شدت کمبود آب را در دوره‌های خشک پخش می‌کنند و با بالا بردن تداوم خشکسالی، شدت خشکسالی را کاهش می‌دهند. برای به‌دست آوردن قوانین محدودکننده هجینگ دونقطه-

Archive of SID

www.SID.ir

ای مورد نظر، از پارامترهای توابع سود واقعی هر سد استفاده شده است. در حوضه گرگان‌رود مورد مطالعه، سه سد سری بوستان، گلستان و وشمگیر مورد آزمون قرار گرفتند. هر کدام از سدها دارای مصارف مختلفی از جمله نیاز کشاورزی و نیاز زیست محیطی هستند. برای نیاز زیست محیطی، اولویت اول در نظر گرفته شد و نیازهای دیگر در اولویت بعدی قرار گرفتند.

برای اعمال قوانین هجینگ دو روش تک‌سدی و چندسدی مورد بررسی قرار گرفت. در روش تک‌سدی قوانین محدودکننده هر سد، به‌وسیله پارامترهای اقتصادی آن سد به‌دست آمد. اما در روش چندسدی با در نظر گرفتن سه سد مورد مطالعه به‌صورت یک مجموعه متاثر از یکدیگر، پارامترهای توابع سود اقتصادی سدها بهینه شده و در محاسبه قوانین محدودکننده مورد استفاده قرار گرفتند. برای بهینه‌سازی پارامترهای توابع سود از نرم‌افزار Lingo استفاده شد و تابع هدف بهینه‌سازی، سود حاصل از خروجی سه سد قرار داده شد. نمودارهای تجمعی شدت خشکسالی نیاز زیست محیطی دو سد بوستان و گلستان نشان می‌دهند که کمبودهای حاصل از تخصیص به‌وسیله دو روش هجینگ تک‌سدی و چندسدی دارای شدت کمتری نسبت به روش ویپ رایج هستند. با توجه به ثابت بودن مقدار آب، با تخصیص آب بیشتر به نیاز زیست محیطی که دارای اولویت بالاتر بوده است، آب کمتری به نیازهای دیگر تخصیص پیدا کرده است. بنابراین مجموع کمبود آب در تامین نیازهای غیر از نیاز زیست محیطی در دو روش هجینگ بیشتر از روش Weap ساده خواهد بود.

نظر به این‌که هدف اصلی در این تحقیق کاهش خسارات خشکسالی یا به‌عبارتی افزایش سود اقتصادی است، ملاحظه می‌شود که سود اقتصادی حاصل از روش هجینگ تک‌سدی مربوط به هر سد نسبت به روش Weap ساده بیشتر شده است. در روش چندسدی با توجه به این‌که مجموع سه سد همزمان دیده شده است، برای مقایسه سود اقتصادی حاصل از تخصیص، باید مجموع سود اقتصادی حاصل از سه سد مورد مقایسه قرار گیرد.

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد، سود اقتصادی حاصل از روش چندسدی نه تنها به‌طور مجموع سه سد، بلکه برای هر سد به‌طور جداگانه نیز بیشتر از روش Weap ساده است. به علت متفاوت بودن توابع سود اقتصادی روش تک‌سدی و روش چندسدی، سود اقتصادی به‌دست آمده از این دو روش با یکدیگر قابل مقایسه نیستند و تنها می‌توان به مقایسه نتایج شدت و تداوم خشکسالی اکتفا کرد که نتایج به‌دست آمده در نیاز زیست‌محیطی سد بوستان و وشمگیر برتری روش چندسدی و در سد گلستان برتری روش تک سدی را نشان می‌دهد.

منابع مورد استفاده

1. Bower, B.T., M.M. Hufschmidt and W.W. Reedy. 1966. Operating procedures: Their role in the design of water-resource systems by simulation analyses. In: A. Maass., M.M.R. Hufschmidt, Design of Water Resources Systems. Harvard University Press, Cambridge, MA, 443-458.
2. Draper, A.J. and J.R. Lund. 2004. Optimal hedging and carryover storage value. Journal of Water Resources Planning and Management, 130(1): 83–87.
3. Hashimoto, T., J.R. Stedinger and D.P. Loucks. 1982. Reliability, resilience and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. Water Resources Research, 18(1): 14–20.
4. Jacoby, H.D. and D.P. Loucks. 1972. Combined use of optimization and simulation models in river basin Planning. Water Resources Research, 8(6): 1401-1414.
5. Klemes, V. 1977. Value of information in reservoir optimization. Water Resources Research, 13(5): 857–850.
6. Mays, L.W. 1996. Water Resources Handbook. McGraw-Hill Professional.
7. Lund, J.R. and I. Ferreira. 1997. Operating rule optimization for Missouri river reservoir system. Journal of Water Resources Planning and Management, 122(4): 287-295.
8. Lund, J.R. and J. Guzman. 1996. Developing seasonal and long-term reservoir system operation plans using HEC-PRM, Technical Report, RD-40, Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, Calif.
9. Lund, J.R. and J. Guzman. 1999. Derived operating rules for reservoirs in series or in parallel. Journal of Water Resources Planning and Management, 125(3): 143–153.

Archive of SID

www.SID.ir

10. Nalbantis, I. and D. Koutsoyiannis. 1997. A parametric rule for planning and management of multiple-reservoir systems. Water Resources Research, 33(9): 2165-2177.
11. Wurbs, R.A. 1993. Reservoir-system simulation and optimization models. Journal of Water Resources Planning and Management, 119(4): 455-472.

Archive of SID

www.SID.ir

Developing WEAP an integrated water resources model for modeling in drought conditions

Fatemrh Mirzaie Nodoushan[*1], Shahab Araghinejad[2] and Omid Bozorghaddad[3]
[1] MSc, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran, [2] Assistant Professor, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran and [3] Associate Professor, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran

Received: 01 July 2014 Accepted: 10 December 2014

Abstract

One of the most important problems of water resources operation systems, specifically surface reservoirs in confronting hydrologic variability, is considering drought phenomenon effects on operation methods. As well as flow variations relative to average flow, duration of the drought is another important factor. One way to resist the drought is suitable operation of water resources during drought conditions. There are several models developed for water resources management such as WEAP software. But such models do not have water resources modeling capability during drought conditions. Therefore, developing such capability on WEAP model is highly important for water resources engineers. Developing the hedging rules for operation based on WEAP software was investigated by this research by which an extension program was developed in WEAP software. Developing such model would enable us to jointly optimize and simulate on basins. In order to test the capability of the complementary program, modeling was performed on operation of Gorganrood river reservoirs. Then the results of the developed model were compared to the ordinary WEAP software results. The results indicated 1 to 38 percent increased capability of WEAP software on modeling for hydrologic drought conditions. It is worth mentioning that the complementary model was developed as a general model by which the model can be used on different basins.

Key words: Drought, Hedging, Optimization, Reservoir operation, Simulation and WEAP

[*] Corresponding author: nodoushan_m@ut.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir