تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۹، شماره ۴، مهر و آبان ۱۳۹۷ (ص ۸۹۰-۸۷۹) DOI: 10.22059/ijswr.2018.243226.667771

تأثیر سیاست بهره‌برداری، سطوح اعتمادپذیری و آستانه کمبود نیاز کشاورزی بر ظرفیت بهینه مخزن سد

حسین شیبانی[1*]، مجتبی شوریان[2]

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، پردیس فنی عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی

۲. استادیار، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، پردیس فنی عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی

(تاریخ دریافت: ۱۶/ ۷/ ۱۳۹۶- تاریخ بازنگری: ۶/ ۱۰/ ۱۳۹۶- تاریخ تصویب: ۱۹/ ۱۰/ ۱۳۹۶)

چکیده

ظرفیت بهینه مخزن یک سد متأثر از دو فرض مهم است که در مرحله طراحی مدنظر قرار می‌گیرند. مورد اول سیاست بهره‌برداری منتخب است که به معنی نحوه رهاسازی جریان در زمان بهره‌برداری است. سیاست‌های متعارف بهره‌برداری از مخزن در مطالعات عمدتاً شامل سیاست بهره‌برداری استاندارد، S-type، SQ-type و روش‌های برگرفته از این روش‌ها مانند GSQ-type و یا GSQD-type هستند. مورد دوم سطوح مفروض اعتمادپذیری و حد آستانه کمبود مجاز در تأمین نیازها هستند. در این مطالعه، تأثیر توأم سیاست بهره‌برداری منتخب، حدود اعتمادپذیری و آستانه کمبود بر روی ظرفیت بهینه مخزن سد ماربره در استان لرستان مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور تعیین ظرفیت بهینه مخزن در چهار حالت، Free Policy، SOP، S-type و SQ-type با لحاظ توأم سطوح مختلف اعتمادپذیری و آستانه کمبود انجام گرفته است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که ظرفیت بهینه مخزن سد به‌شدت متأثر از حدود اعتمادپذیری، آستانه کمبود و سیاست بهره‌برداری منتخب است. به‌نحوی‌که در مطالعه حاضر تغییر در اعتمادپذیری از ۵۰ تا ۱۰۰ درصد کمینه ظرفیت مخزن را برای حالت‌های مختلف سیاست بهره‌برداری و آستانه کمبود موردقبول مختلف، از ۵/۲ میلیون مترمکعب تا ۲۴۸/۳ میلیون مترمکعب تغییر می‌دهد. تأثیر عدم قطعیت پارامتر احتمالاتی جریان ورودی به مخزن سد نیز در مطالعه حاضر به روش ضمنی (استفاده از سری‌های آماری) لحاظ شده است.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، ظرفیت مخزن، روش ضمنی، سیاست بهره‌برداری استاندارد

مقدمه

سدهای مخزنی جهت ذخیره جریان در ماه‌های پر آب که معمولاً نیازهای کشاورزی کم است و تخصیص آن در فصول کم‌آبی که با افزایش تقاضا همراه هستند، بر روی رودخانه‌ها احداث می‌گردند. این سازه‌ها به علت ساختار پیچیده و عظیمی که دارند معمولاً پرهزینه بوده و هزینه‌های ساخت آن‌ها به‌طور نمایی با افزایش ارتفاع و به‌تبع آن افزایش ظرفیت، زیاد می‌شود. ازاین‌رو یکی از مهم‌ترین موضوعات در رابطه با طراحی این سازه‌ها ظرفیت بهینه آن‌ها است. به‌طورکلی ظرفیت یک سد مخزنی به میزان زیادی متأثر از جریان ورودی به مخزن سد و نیازهای پایین‌دست است. یکی از مباحث اصلی در مطالعات مربوط به مخازن سدها تأثیر عدم‌قطعیت جریان ورودی بر روی ظرفیت بهینه مخزن است (Tung *et al*., 2005; Dudley *et al*., 1972). در طراحی ظرفیت مخزن یک سد معمولاً فرض بر این است که شرایط هیدرولوژیک حاکم بر منطقه طی چرخه طبیعی در آینده نیز تکرار خواهد شد و به این دلیل از آمار و اطلاعات تاریخی ثبت‌شده مربوط به پارامترهای هیدرولوژیکی و هواشناسی استفاده می‌گردد. بررسی این تأثیر معمولاً به دو روش صریح (Explicit) و ضمنی (Implicit) انجام می‌گردد (Mousavi *et al*., 2014). در روش صریح از مشخصه‌های آماری داده‌ها (جریان ورودی به مخزن، بارندگی، نیاز آبی و ...) بهره گرفته می‌شود، درحالی‌که در روش ضمنی که موضوع مطالعه حاضر نیز است، از سری زمانی تولیدشده و یا مشاهده‌شده داده‌های دارای عدم‌قطعیت استفاده می‌شود (Dudley *et al*., 1972; Dudley and Burt, 1973; Vedula and Mujumdar, 1992; Cai and McKinney., 1999; Cai *et al*., 2003; Wurbs, 2005; Marques *et al*., 2005; Moradi *et al*., 2007; Jain *et al*., 2010; Tung *et al*., 2005; Mousavi *et al*., 2014). ازجمله روش‌های تولید داده‌های تصادفی، روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو است که در این تحقیق از آن بهره گرفته شده است (Tung *et al*., 2005). در مطالعه حاضر سری زمانی جریان ورودی به مخزن سد به‌صورت بده ماهانه برای ۳۰ سال آبی در مدل لحاظ شده است. سری آماری مدنظر بر پایه توزیع نرمال و منطبق بر مشخصه‌های آماری جریان تولیدشده است.

* نویسنده مسئول: h_sheibani@sbu.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

علاوه بر موضوع عدم‌قطعیت جریان ورودی به مخزن سد، سیاست بهره‌برداری از مخزن و همچنین فرضیات مربوط به نحوه تأمین نیازهای آبی پایین‌دست نیز بر روی جواب نهایی مسئله که همان ظرفیت بهینه مخزن است، تأثیرگذار هستند. نحوه تأمین نیازها به‌خصوص در مطالعاتی که اقتصاد سامانه به‌طور کامل محاسبه نشده و روابط مربوط به عملکرد محصول با توجه به نیاز آبی تأمین‌شده در مسئله لحاظ نمی‌گردد، با دو پارامتر مفروض اعتمادپذیری و آستانه کمبود مجاز مشخص می‌گردد (Loucks *et al*., 2005). اعتمادپذیری به دو شکل متوسط و یا فصلی می‌تواند لحاظ گردد (Mousavi *et al*., 2014). کمبود نیز میزان نیاز تأمین نشده در ماه‌های شکست سامانه است. بیشینه کمبود مجاز نیز به‌عنوان آستانه کمبود مجاز معرفی می‌شود.

در پروژه‌های عمرانی، اقتصاد طرح بسیار تعیین‌کننده بوده و مشخصات یک پروژه بر اساس مؤلفه‌های اقتصادی مانند سود خالص، نسبت سود به هزینه و یا نرخ بازده داخلی و یا همه این موارد مشخص می‌گردد. در مطالعات مربوط به سدهای مخزنی نیز باید سود خالص به‌عنوان تابع هدف اصلی مدنظر قرار گیرد (Cai and McKinney., 1999; Marques *et al*., 2005; Moradi *et al*., 2007; Alizadeh and Mousavi, 2013). معمولاً در حل مسئله مخزن و شبکه آبیاری پایاب آن دو رویکرد کلی به لحاظ الگوریتم حل مسئله مدنظر قرار می‌گیرد. در یک رویکرد سود خالص باید در مدل بهینه‌سازی تعریف‌شده، بیشینه گردد و در رویکرد دیگر ظرفیت مخزن باید کمینه شود. رویکرد اول دقیق و روش دوم دارای تقریب است، لیکن روش دوم نیز روشی پرکاربرد است. ضمناً توابع هدفی که به‌صورت بیشینه نمودن سود خالص واقعی سامانه تعریف می‌شوند، معمولاً به‌سختی حل شده و یا با صرف وقت زیاد و یا ساده‌سازی به جواب نهایی منتج می‌گردد و باید روابط اقتصادی و کشاورزی ازجمله عملکرد محصولات با توجه به نیاز آبی تأمین‌شده در مسئله وارد شود (Cai and McKinney., 1999; Cai *et al*., 2003; Alizadeh, 2013). در رویکردی ساده‌تر برای حل چنین مسائلی، بجای بیشینه نمودن سود خالص، کمینه نمودن ظرفیت مخزن مدنظر قرار می‌گیرد (Mousavi *et al*., 2014). در راه‌حل ساده که کمینه نمودن ظرفیت مخزن مدنظر است، فرضیاتی در مسئله وارد می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها اعتمادپذیری تأمین نیاز و آستانه کمبود مجاز هستند. منطق فرض عددی برای اعتمادپذیری بر این اصل استوار است که تأمین صددرصدی نیاز بهینه نیست (Cai and McKinney., 1999) .

در مطالعه حاضر تأثیر این دو پارامتر مفروض، بر روی ظرفیت بهینه مخزن مطالعه شده است. وجه تمایز مطالعه حاضر با مطالعات پیشین بررسی تأثیر همزمان این دو پارامتر بر جواب مسئله است. در مطالعات پیشین تمرکز بیشتر بر روی تأثیر پارامتر مفروض اعتمادپذیری بوده و اثر آستانه کمبود مجاز نیاز کشاورزی و اعتمادپذیری به‌صورت توأمان دیده نشده است. درصورتی‌که در تأمین نیاز کشاورزی این پارامتر می‌تواند از پارامتر اعتمادپذیری تأثیر بیشتری در جواب بهینه داشته باشد. Cai در مطالعاتی که در سال ۱۹۹۹ انجام داده است، نشان داد که اعتمادپذیری بالا بهینه نبوده و کم‌آبیاری، سامانه را بهینه‌تر می‌کند. لیکن باید حد اعتمادپذیری مفروض قبلاً در مطالعه کامل اقتصادی بهینه شده و سپس در مدل‌های ساده‌تر (کمینه نمودن ظرفیت مخزن بجای بیشینه نمودن سود خالص) وارد شود. مطالعه حاضر به دنبال نشان دادن تأثیر بسیار زیاد این مقادیر مفروض در جواب نهایی مسئله است. لازم به ذکر است که مدل‌های ساده بهینه‌سازی سامانه مخزن و شبکه پایاب آن که موضوع مطالعه حاضر است، در صنعت به دلیل حل راحت عموماً مورد استفاده قرار می‌گیرد و نمی‌توان به‌راحتی از آن‌ها عبور کرد بلکه باید مفروضات این‌گونه مدل‌ها بر مبنای مطالعات دقیق انتخاب شده باشد.

در تحقیق حاضر، بررسی تأثیر سطح اعتمادپذیری و آستانه کمبود بر روی ظرفیت بهینه مخزن در شرایط لحاظ سیاست‌های بهره‌برداری مختلف و لحاظ عدم‌قطعیت جریان ورودی به مخزن سد صورت گرفته است. سیاست بهره‌برداری راهنمای رهاسازی جریان از سد جهت تأمین نیازهای پایاب سد است (Vedula and Mujumdar, 1992). اگر ظرفیت مخزن بهینه باشد، لیکن راهنما و یا قواعدی برای بهره‌برداری از آن ارائه نشده باشد، بهره‌برداری کارآمد نخواهد بود. این امر به دلیل ثابت نبودن داده‌های هیدروکلیماتولوژی بوده و باید قاعده‌ای برای بهره‌برداری با توجه به تغییرات داده‌های دارای عدم‌قطعیت (مخصوصاً جریان ورودی به مخزن) ارائه گردد. ازجمله سیاست‌های بهره‌برداری شناخته‌شده سیاست‌های بهره‌برداری استاندارد[1] (SOP)، S-type و SQ-type هستند. مطالعات انجام‌شده تاکنون نشان داده است که حجم مخزن برآورد شده با این روش‌ها بیشتر از حجم بهینه واقعی (یعنی حالتی که هیچ سیاست بهره‌برداری از پیش تعیین‌شده‌ای در مسئله لحاظ نمی‌گردد (Free Policy)) است (Mousavi *et al*., 2014). لیکن

1. Standard Operation Policy

Archive of SID

www.SID.ir

سیاست بهره‌برداری استاندارد (SOP)، به دلیل کاربردی بودن و سهولت استفاده، جزء روش‌های نسبتاً مطلوب به‌حساب می‌آید. مطالعات و بررسی‌های انجام‌شده در روش ضمنی بر پایه دو حالت کلی بهینه‌سازی و شبیه‌سازی جهت استخراج نتایج موردنظر انجام می‌گردد. در مطالعه حاضر رویکرد بهینه‌سازی مدنظر بوده و نتایج در قالب یک مدل قطعی بهینه‌سازی تک مخزن استخراج گردیده است. بیشتر مطالعات در این زمینه به‌خصوص در رابطه با سیاست بهره‌برداری SOP بر پایه شبیه‌سازی انجام شده است. Neelakantan and Pundrikanthan (1999) با بررسی قواعد بهره‌برداری در روش SOP به این نتیجه رسیدند که شدت کمبودها در این روش بالاست و برای احصاء اعتمادپذیری مشخص باید ظرفیت مخزن بیشتری به نسبت سایر قواعد بهره‌برداری در نظر گرفته شود. در رابطه با قواعد بهره‌برداری خطی نیز مطالعات زیادی بر روی تأثیر قواعد بهره‌برداری خطی S-type و SQ-type بر ظرفیت موردنیاز مخزن در اعتمادپذیری‌های مختلف و تأثیر این سیاست‌ها در افزایش ظرفیت مخزن ارائه شده است.

Loucks and Dorfman (1975) قواعد بهره‌برداری خطی را با لحاظ اعتمادپذیری بر خروجی از سد و ذخیره سد مورد مطالعه قرار داده و نشان دادند که این قواعد بهینه نبوده و قواعد Mulitipe-SQ-type را ارائه کردند. Karamouz and Houck (1982) روشی برای حل قواعد بهره‌برداری Mulitipe-SQ-type با توجه به محدودیت‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری آن زمان ارائه کردند. البته حل مسائل این‌چنینی امروزه چندان سخت نیست. از دیگر مطالعات بر روی سیاست بهره‌برداری انجام‌شده می‌توان به این موارد اشاره کرد (Colorni and Foronza, 1976; Luthra and Arora, 1976; Strycharczyk and Stedinger, 1987; Siminovic and Marino, 1999; Houck and Datta, 1981; Jery and Stedinger, 1984; Hyde et al., 2004; Datta and Burges, 1984; Alizadeh, 2013). در این مطالعات که در بالا به آن اشاره شده است، هر دو روش صریح و ضمنی مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مطالعات بیشتر اعتمادپذیری متوسط مورد بررسی بوده و به تأثیر اعتمادپذیری فصلی بر نتایج پرداخته نشده است. ازجمله کامل‌ترین مطالعات انجام‌شده در این زمینه مطالعه انجام‌شده توسط موسوی و همکاران بوده که به بررسی تأثیر حدود اعتمادپذیری و سیاست‌های مختلف بهره‌برداری و مقایسه نتایج پرداخته است (Mousavi *et al.*, 2014). در این مطالعه اعتمادپذیری فصلی نیز مطالعه شده است. لیکن در مطالعات فوق به تأثیر آستانه کمبود مجاز که در تأمین نیازهای کشاورزی مهم است، پرداخته نشده است. در مطالعه حاضر تأثیر این پارامتر نیز بررسی شده است. بنابراین در مطالعه حاضر تأثیر توأم سیاست بهره‌برداری منتخب، اعتمادپذیری (متوسط و فصلی) و آستانه کمبود مجاز در تأمین نیازها، بر ظرفیت بهینه مخزن سد مطالعه شده است که در کمتر مطالعه‌ای تأثیر توأم این پارامترها باهم بررسی شده است و از این نظر مطالعه حاضر دارای نوآوری است.

متدولوژی و روش انجام تحقیق

در این قسمت روابط و قیود حاکم بر مسئله بهینه‌سازی ظرفیت مخزن سد جهت تأمین نیاز آبی شبکه کشاورزی پایاب آن، به روش ضمنی با لحاظ عدم‌قطعیت در پارامتر جریان ورودی به مخزن و برای سیاست‌های بهره‌برداری مختلف با لحاظ پارامترهای مفروض اعتمادپذیری و آستانه کمبود مجاز ارائه شده است. در ادامه ابتدا پارامترهای اعتمادپذیری و آستانه کمبود مجاز که مهم‌ترین پارامترهای موردبحث مقاله حاضر است، تعریف شده و نحوه قطعی‌سازی آن در مدل بکار رفته، ارائه شده است و سپس مدل بهینه‌سازی به‌طور کامل ارائه و پارامترهای آن تشریح شده است.

معیار اعتمادپذیری (α) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌گردد:

$$\alpha = \frac{[Number\ of\ \ time\ periods\ t\ that\ X_t \geq X^T]}{N} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

X_t مقدار نیاز تأمین‌شده در دوره زمانی t ، X^T کل نیاز موردنظر در دوره زمانی t و N تعداد کل گام‌های زمانی دوره هستند. نحوه محاسبه پارامتر اعتمادپذیری در یک مدل برنامه‌ریزی در ادامه ارائه خواهد شد. معیار کمبود β نیز با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌گردد:

$$\boldsymbol{\beta = 1 - \frac{X_t}{X^T}} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

پارامتر کمبود برای هر بازه به‌طور جداگانه محاسبه شده و نهایتاً یک آستانه برای آن مشخص می‌گردد که باید در طول کل دوره‌های زمانی رعایت شود. در مطالعات سدهای مخزنی برای بهینه‌سازی ظرفیت مخزن سد، معمولاً پارامتر اعتمادپذیری و آستانه کمبود، توسط طراح فرض می‌شود. مفهوم روابط (۱) و (۲) را می‌توان با روابط (۳) و (۴) در مدل بهینه‌سازی قطعی ارائه و در قیود برنامه گنجاند و مسئله را با لحاظ این قیود حل نمود (Mousavi *et al.*, 2014). روابط (۳) و (۴) به ترتیب مربوط به اعتمادپذیری متوسط و کمبود می‌باشند. رابطه (۵) نیز اعتمادپذیری فصلی را ارائه می‌نماید. لازم به ذکر است که تعریف آستانه کمبود در حالت متوسط و فصلی یکسان خواهد بود.

(رابطه ۳)

$$\sum_{m=1}^{T} \frac{pr\{r_m \geq D_m\}}{T} \geq \propto$$

Archive of SID

www.SID.ir

$r_{y,m} \geq \beta * D_m \quad \forall y = 1, \dots, N, \forall m = 1, \dots, 12$ (رابطه ۴)

$\mathrm{pr}\{\mathrm{r_m} \geq \mathrm{D_m}\} \geq \propto_{\mathrm{m}}$ (رابطه ۵)

معادلات (۳) تا (۵) قیود احتمالاتی هستند که در این قیود، اندیس m مربوط به ماه (دوره) و اندیس y مربوط به سال، $r_{y,m}$ میزان حجم رهاسازی در ماه m و سال y، Dm نیاز در ماه m، α اعتمادپذیری متوسط، $\propto_m$ اعتمادپذیری فصلی ماه m و β آستانه کمبود مجاز هستند. معادل قطعی روابط احتمالاتی فوق برای مدل بهینه‌سازی طراحی مخزن سد برای حالت ضمنی احتمالاتی در ادامه ارائه شده است.

$r_{y,m} = D_m + exeD_{y,m} - defD_{y,m}$ (رابطه ۶)

$defD_{y,m} \leq \beta * D_m * \left(1 - Z_{y,m}\right)$ (رابطه ۷)

$\mathrm{exeD_{y,m}} \leq \mathrm{BV} * \mathrm{Z_{y,m}}$ (رابطه ۸)

$\sum_{y=1}^{\mathrm{N}} \sum_{\mathrm{m}=1}^{\mathrm{T}} \frac{Z_{y,m}}{\mathrm{N.T}} \geq \propto$ (رابطه ۹)

(بالا و پایین آلفا نوشته شود)

$\sum_{y=1}^{N} \frac{Z_{y,m}}{N} \geq \propto_m \quad \forall m = 1, \dots, 12$ (رابطه ۱۰)

در رابطه (۶) $exeD_{y,m}$، مقدار اضافه خروجی از سد به نسبت نیاز مشخص ماه مربوطه (D_m) در حالتی که سامانه نیاز را کاملاً تأمین کرده است. $defD_{y,m}$، مقدار کمبود نسبت به نیاز مشخص ماه مربوطه در حالت شکست سامانه است. BV یک عدد بزرگ و $Z_{y,m}$ عدد در مبنای باینری (صفر و یا یک) هستند. در روابط (۶) تا (۸) با تعریف یک متغیر باینری $(Z_{y,m})$، مدل در تأمین یا عدم تأمین نیاز پایین‌دست مختار است. در این روابط اگر $Z_{y,m}$ برابر یک باشد، نیاز قطعاً تأمین شده و درصورتی‌که برابر با صفر باشد، قطعاً کمبود وجود دارد. نهایتاً با استفاده از روابط (۹) و (۱۰) به ترتیب قیود اعتمادپذیری متوسط و فصلی در مدل گنجانده شده و این مقادیر محاسبه می‌شوند.

مدل بهینه‌سازی پیشنهادی

در ادامه، معادلات و قیود حاکم بر مدل غیرقطعی بهینه‌سازی ضمنی تک مخزن (Single Reservoir Model) جهت طراحی و بهینه‌سازی ظرفیت کمینه مخزن سد، شامل تابع هدف، قیود اعتمادپذیری و معادلات بیلان مخزن در رابطه شماره (۱۱) برای حالت Free policy و در ادامه، قیود مربوط به سیاست‌های بهره‌برداری موردنظر در تحقیق حاضر، به‌طور کامل ارائه و تشریح شده است.

$Min\ (K)$ (رابطه ۱۱)

st:

$r_{y,m} = D_m + exeD_{y,m} + defD_{y,m}$

$defD_{y,m} \leq \beta * D_m * \left(1 - Z_{y,m}\right)$

$exeD_{y,m} \leq BV * Z_{y,m}$

$\sum_{y=1}^{N} \sum_{m=1}^{T} \frac{Z_{y,m}}{N.T} \geq \propto$

average reliability

$$\sum_(y = 1)\text{^}N \text{▒} \left[\!\left[Z_(y,m)/N \geq \propto_m \right]\!\right] \ \forall m = 1, \dots, 12$$

seasonal reliability

$s_{y,m+1} = s_{y,m} + q_{y,m} - r_{y,m} - e_{y,m} \quad \forall y = 1, \dots, N, \forall m = 1, \dots, 11$

$s_{y+1,1} = s_{y,m} + q_{y,m} - r_{y,m} - e_{y,m} \quad \forall y = 1, \dots, N, \forall m = 12$

$s_{y+1,1} = s_{y,m} + q_{y,m} - r_{y,m} - e_{y,m} \quad \forall y = N, \forall m = 12$

$e_{y,m} = a_{y,m} * t_{y,m}$

$a_{y,m} = \mathrm{A} * s_{y,,m}$

$s_(y,m) \leq k \quad \forall y = 1, \dots, N, \forall m = 1, \dots, 12$

$s_{y,m} \geq k_d \quad \forall y = 1, \dots, N, \forall m = 1, \dots, 12$

در معادلات فوق $s_{y,m}$ ذخیره جریان در ماه m و سال y، $q_{y,m}$ جریان ورودی به مخزن سد، $e_{y,m}$ حجم تبخیر از مخزن سد، $a_{y,m}$ مساحت جریان ذخیره‌شده در مخزن سد و $t_{y,m}$ عمق تبخیر از سطح آزاد آب مخزن سد هستند. A ضریب ثابت تبدیل حجم ذخیره به سطح آب مخزن است که در این مطالعه این ضریب برابر با ۰/۰۳۵ است. k_d نیز حجم مرده مخزن است که با توزیع حجم رسوب محاسبه‌شده در محل ساخت گاه سد، به‌دست آمده است. در رابطه (۱۱) تابع هدف مسئله بر مبنای کمینه کردن ظرفیت مخزن سد و معادلات مربوط به قیود شانسی رهاسازی بیشینه و معادلات مربوط به بیلان مخزن سد ارائه شده است. معادلات فوق یک مدل بهینه‌سازی قطعی غیرخطی مختلط عدد صحیح (MINLP) جهت بهینه‌سازی ظرفیت مخزن سد با قیود احتمالاتی و به روش ضمنی است (Mousavi *et al*., 2014).

همان‌گونه که در سطرهای بالا اشاره شد، یکی از مواردی که بر روی جواب نهایی مسئله سد و شبکه کشاورزی آن تأثیرگذار است، سیاست بهره‌برداری منتخب است. معادلات ارائه‌شده در رابطه (۱۱) مربوط به حالت Free Policy است که در این حالت در زمان بهره‌برداری هیچ قید بهره‌برداری برای رهاسازی جریان وجود ندارد و فرآیند مطمئنی برای برنامه‌ریزی در آینده نیست. این موضوع به خاطر ماهیت غیرقطعی پارامترهای مؤثر مانند جریان ورودی به مخزن سد است و در زمان بهره‌برداری سامانه، باید بر مبنای قاعده بهره‌برداری عمل نماید. سیاست‌های بهره‌برداری موردنظر در این مقاله شامل

Archive of SID

www.SID.ir

Free policy ، SOP ، S-type و SQ-type هستند. در معادلات (۱۲) تا (۱۶) روابط مربوط به قواعد و سیاست‌های بهره‌برداری موردنظر در مطالعه حاضر ارائه گردیده است. لازم به ذکر است که S-type و SQ-type قواعد تصمیم خطی[1] (LDR) هستند که در معادلات (۱۲) و (۱۳) تعریف شده‌اند. در این سیاست‌های بهره‌برداری خطی، قاعده بهره‌برداری به‌صورت روابطی خطی از پارامترهای متغیر ذخیره جریان در مخزن و جریان ورودی به مخزن ارائه می‌گردد. در برخی موارد به‌خصوص در بهینه‌سازی به روش صریح، اضافه کردن آن‌ها به قیود مدل بهینه‌سازی باعث خطی شدن روابط می‌گردند.

(رابطه ۱۲) $r_{y,m} = s_{y,m} - b_m \quad S-type\ LDR$

(رابطه ۱۳) $r_{y,m} = s_{y,m} + q_{y,m} - b_m \quad SQ-type\ LDR$

در این روابط b_m پارامتر مجهولی است که در مدل بهینه‌سازی محاسبه و بهینه می‌گردد. در رابطه (۱۴) نیز قاعده حاکم بر سیاست بهره‌برداری SOP ارائه شده است.

(رابطه ۱۴)

$$if\ (s_{y,m} + q_{y,m} - k_d) \geq D_m\ then\ r_{y,m} \geq D_m\ else\ r_{y,m} = s_{y,m} + q_{y,m} - k_d \quad SOP$$

سیاست بهره‌برداری استاندارد (SOP) با استفاده از معادلات (۱۵) و (۱۶) در یک مدل ضمنی تعریف شده و به قیود اضافه می‌گردد.

(رابطه ۱۵)

$$r_{m,y} = \left(s_{m,y} + q_{m,y} - e_{m,y} - k_d\right) * Z_{1\,y,m} + \left(D_{m,y}\right) * Z_{2y,m} + \left(D_{m,y} + Spill_{y,m}\right) * Z_{3y,m}$$

(رابطه ۱۶)

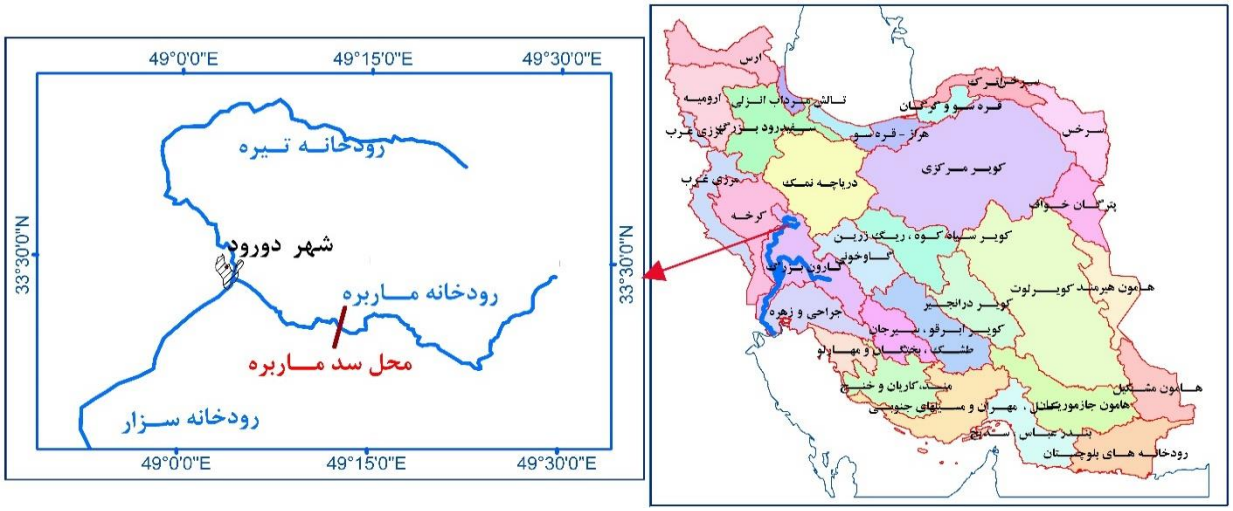
$$Z_{1\,y,m}, Z_{2y,m}, Z_{3\,y,m} \quad are\ binary\ variables$$
$$Z_{1y,m} + Z_{2y,m} + Z_{3y,m} = 1$$

سیاست بهره‌برداری SOP بر این فرض استوار است که در تمام طول دوره بهره‌برداری اگر ذخیره مخزن (بدون لحاظ حجم مرده) برابر یا بزرگ‌تر از نیاز آبی ماه مربوطه باشد، نیاز به طور کامل تأمین می‌گردد و اگر ذخیره سد (بدون لحاظ حجم مرده) کمتر از نیاز آبی باشد، کل ذخیره سد (بدون لحاظ حجم مرده) به شبکه تخصیص داده می‌شود. هرچند این سیاست غیر بهینه است. لیکن با توجه به قاعده ساده بهره‌برداری حاکم بر آن کاربرد زیادی دارد. با اضافه کردن قیود مربوط به هر سیاست بهره‌برداری (معادلات ۱۲ تا ۱۶) به حالت Free policy، نتایج مربوط به آن سیاست قابل استخراج هستند.

مطالعه موردی و داده‌های مورداستفاده

مدل بهینه‌سازی موردبحث در این مقاله مربوط به روش ضمنی و برای ساخت‌گاه سد مخزنی ماربره واقع در استان لرستان است. محل ساخت‌گاه بر روی رودخانه ماربره قرار داشته و در حدود ۹ کیلومتری جنوب شرقی شهر دورود قرار دارد. حوضه آبریز محل سد دارای وسعت حدود ۲۵۳۶ کیلومترمربع است. در شکل (۱) محل طرح و شبکه هیدروگرافی محدوده طرح ارائه شده است. برای بده جریان ورودی به مخزن سد، سری زمانی تولیدشده ۳۰ ساله بر اساس توزیع نرمال با استفاده از مشخصه‌های آماری درازمدت ساخت‌گاه سد ماربره لحاظ شده است. در جدول (۱) مشخصه‌های آماری جریان رودخانه در محل سد ماربره ارائه گردیده است و از ارائه آمار تمام طول دوره آماری به دلیل طولانی بودن آن خودداری شده است.

1. Linear Decision Rule



شکل ۱. محل سد مخزنی و شبکه هیدروگرافی طرح

عمق تبخیر از واحد سطح آب ذخیره‌شده نیز در جدول (۲) ارائه شده است. برای محاسبه حجم تبخیر در هر بازه، عمق تبخیر ماه موردنظر (جدول ۲)، در سطح آب ذخیره‌شده در مخزن ضرب می‌شود. سطح مخزن با ارائه رابطه‌ای بین سطح و

Archive of SID
www.SID.ir

حجم مخزن در ترازهای مختلف که از نقشه‌های توپوگرافی محل طرح استخراج می‌گردد، تعیین می‌شود. نیازهای مربوط به سد ماربره نیز در جدول (۲) ارائه شده است. این نیاز تنها شامل نیاز کشاورزی شبکه پایاب سد ماربره است.

جدول ۱. مشخصات آماری جریان ماهانه و سالانه ورودی به مخزن سد ماربره با لحاظ اثر طرح‌های بالادست به میلیون مترمکعب

مشخصه آماری	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
بیشینه	۱۱/۰	۲۸/۳	۴۸/۸	۳۱/۵	۴۳/۰	۷۶/۱	۱۵۹/۲	۱۰۹/۷	۲۸/۲	۱۷/۲	۱۵/۶	۱۱/۴	۵۸۰/۰
متوسط	۵/۴	۸/۹	۱۶/۳	۱۶/۴	۱۸/۹	۲۹/۱	۴۶/۰	۳۳/۸	۱۲/۲	۸/۲	۶/۷	۵/۴	۲۰۷/۱
کمینه	۲/۲	۱/۷	۳/۵	۷/۵	۶/۷	۸/۱	۷/۲	۶/۱	۴/۲	۳/۳	۲/۳	۲/۱	۵۵/۱
انحراف معیار	۲/۳	۶/۹	۱۱/۸	۶/۴	۹/۶	۱۷/۹	۳۹/۳	۲۶/۹	۶/۴	۳/۷	۳/۵	۲/۵	۱۳۷/۰
ضریب تغییرات	۴۴	۷۸	۷۳	۳۹	۵۱	۶۲	۸۵	۸۰	۵۲	۴۵	۵۲	۴۶	۶۶

جدول ۲. عمق تبخیر از سطح آزاد آب در محل سد مخزنی ماربره به میلی‌متر و توزیع نیاز آبی شبکه آبیاری به میلیون مترمکعب

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
تبخیر از سطح آزاد آب	۱۵۴	۸۷	۳۷	۵	۳	۳	۳۷	۱۵۰	۲۵۰	۲۶۸	۲۶۴	۲۶۴	۱۵۲۲
نیاز آبی	۴/۰	۱/۷	۱/۸	۲/۱	۴/۲	۷/۰	۹/۷	۱۷/۴	۱۷/۴	۱۸/۰	۱۵/۰	۹/۰	۱۰۷/۳

نتایج و بحث

دو هدف اصلی برنامه‌ریزی سامانه مخزن-شبکه آبیاری عبارت از تعیین حجم کمینه مخزن و تأمین اعتمادپذیری سامانه با رعایت آستانه کمبود مجاز معین است. مدل برنامه‌ریزی تصادفی که ساختار کلی مسئله مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد، در محیط نرم‌افزار LINGO.17 کد نویسی شده و نتایج استخراج شده است. ظرفیت بهینه مخزن برای تمام مدل‌های پیشنهادی و برای اعتمادپذیری متوسط در جدول (۳) ارائه شده است. مقادیر ظرفیت مخزن ارائه شده در جدول (۳) نشان می‌دهد در حالتی که هیچ‌گونه سیاست بهره‌برداری در قیود مدل بهینه-سازی اضافه نگردد و برای آستانه کمبود ۱۰۰ درصد، افزایش اعتمادپذیری متوسط از ۵۰ درصد به ۹۰ درصد و کمینه ظرفیت موردنیاز برای مخزن سد از ۵/۲ میلیون مترمکعب به ۲۳/۲ میلیون مترمکعب افزایش می‌یابد. برای اعتمادپذیری متوسط ۱۰۰ درصد نیز کمینه ظرفیت ۱۲۳/۲ میلیون مترمکعب است. نتایج ذکرشده در فوق برای حالتی است که آستانه کمبود در برنامه ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شده است. به این مفهوم که در مواقعی که نیازها به‌طور کامل تأمین نشده است، درصد کمبود تا ۱۰۰ درصد مجاز خواهد بود. به این ترتیب مشاهده می‌شود که با افزایش اعتمادپذیری از ۵۰ درصد به ۹۰ درصد، ظرفیت مخزن سد ۴۴۶ درصد افزایش خواهد داشت. علاوه بر این، از نتایج جدول (۳) می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که در یک اعتمادپذیری ثابت، تغییر در آستانه کمبود مجاز به‌شدت بر روی ظرفیت نهایی بهینه تأثیرگذار خواهد بود.

جدول ۳. ظرفیت کمینه مخزن برای مقادیر اعتمادپذیری متوسط و آستانه کمبود مجاز از پیش تعیین‌شده (میلیون مترمکعب)

سیاست بهره‌برداری	آستانه کمبود مجاز به درصد	اعتمادپذیری متوسط تأمین ۱۰۰٪ نیاز			
		۵۰	۸۰	۹۰	۱۰۰
Free Policy	۱۰۰	۵/۲	۱۲/۱	۲۳/۲	۱۲۳/۲
S-type		۱۵۹/۰	۱۵۹/۱	۱۹۶/۷	-----
SQ-type		۵/۲	۲۱/۳	۵۵/۴	-----
SOP		۵/۲	۶۷/۵	۹۵/۶	۱۲۳/۲
Free Policy	۵۰	۲۶/۱	۲۶/۱	۳۶/۵	
S-type		۱۷۸/۰	-----	-----	
SQ-type		۲۶/۱	۳۹/۱	-----	
SOP		۱۱۸/۱	۱۱۸/۱	۱۲۳/۲	
Free Policy	۳۰	۶۲/۷	۶۲/۷	۶۲/۷	
S-type		-----	-----	-----	
SQ-type		-----	-----	-----	
SOP		۱۲۳/۲	۱۲۳/۲	۱۲۳/۲	

Archive of SID

www.SID.ir

همان‌گونه که در جدول (۳) مشاهده می‌شود، برای اعتمادپذیری ۵۰ درصد و آستانه کمبود مجاز ۱۰۰ درصد، ظرفیت کمینه موردنیاز برای مخزن سد، ۵/۲ میلیون مترمکعب و در همان درصد اعتمادپذیری (۵۰ درصد) و برای آستانه کمبود مجاز ۳۰ درصد، ظرفیت بهینه یا کمینه ۶۲/۷ میلیون مترمکعب است. این نتایج نشان می‌دهد که حدود فرضی درصد اعتمادپذیری و آستانه کمبود که در چنین مدل‌های بهینه‌سازی مخازن سدها بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد، به میزان بسیار زیادی بر روی ظرفیت مخزن نهایی بهینه‌شده تأثیرگذار خواهد بود. علاوه بر این اضافه کردن قیود مربوط به سیاست بهره‌برداری نیز ظرفیت مخزن بهینه‌شده را افزایش می‌دهد که در برخی حالات این افزایش کم و در برخی موارد زیاد خواهد بود. با توجه به مقادیر ارائه‌شده در جدول (۳) سیاست بهره-برداری SOP و S-type نسبت به سیاست بهره‌برداری خطی دیگر یعنی SQ-type، منجر به افزایش بیشتری در ظرفیت نهایی سد خواهد شد و این افزایش بدین معنی است که این دو سیاست بهره‌برداری نسبت به سیاست بهره‌برداری SQ-type، با توجه به تابع هدف مسئله که کمینه کردن ظرفیت مخزن است، نامناسب‌تر می‌باشند. لیکن سیاست بهره‌برداری SQ-type به‌خصوص در شرایط غیر سخت‌گیرانه تأثیر زیادی در ظرفیت سد نخواهد داشت. نتایج نشان می‌دهد که برای سیاست‌های بهره‌برداری S-type و SQ-type در حدود اعتمادپذیری بالا و آستانه کمبود مجاز پایین، جواب مدل غیرممکن شده است. به این معنی که هیچ ظرفیت مخزنی قادر به ارضای این قیود نخواهد بود. ضمناً نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد که جواب کمینه ظرفیت مخزن در حالتی که سیاست بهره‌برداری استاندارد (SOP) حاکم است، در حدود پایین اعتمادپذیری نیز مقدار بالایی دارد. این موضوع نشان می‌دهد که این سیاست در حدود اعتمادپذیری پایین مطلوب نیست، لیکن در شرایطی که اعتمادپذیری بالایی از مخزن انتظار می‌رود، ظرفیت به‌دست‌آمده برای این روش، بسیار نزدیک به حالت Free Policy و یا بهینه واقعی است و نشان از مطلوبیت این سیاست در شرایط اعتمادپذیری بالا دارد. در توصیف سیاست بهره‌برداری SOP ذکر این موضوع لازم است که علیرغم بهینه نبودن این سیاست، نمی‌توان این سیاست بهره‌برداری را به‌راحتی کنار گذاشت، چراکه این روش در بهره‌برداری بسیار مؤثر بوده و تقریباً با کمی تفاوت در اکثر سدهای ذخیره‌ای، خواسته و یا ناخواسته، بکار گرفته شده و روشی سهل و راحت است (تأمین نیاز در مواقعی که در مخزن آب به مقدار کافی وجود دارد و عدم تأمین نیاز در مواقعی که در مخزن آب کافی وجود ندارد). البته همان‌گونه که در سطور فوق نیز به آن اشاره شد، جواب داشتن مسئله در حالت SOP برای حالات سخت‌گیرانه اعتمادپذیری و آستانه کمبود، خود یک مزیت برای این سیاست بهره‌برداری است درحالی‌که مسئله در حالات سخت‌گیرانه و برای سایر سیاست‌های بهره‌برداری خطی دارای جواب نیست. در جدول (۴) مقادیر ظرفیت بهینه برای اعتمادپذیری فصلی نیز ارائه شده است. به‌طورکلی ظرفیت کمینه لازم مخزن برای ارضاء قیود اعتمادپذیری فصلی، بیشتر از حالتی است که قیود اعتمادپذیری متوسط مدنظر باشد. این حالت برای مقادیر کم اعتمادپذیری و آستانه مجاز بالای کمبود، با شدت بیشتری رخ داده و در شرایط سخت‌گیرانه به‌خصوص در مورد آستانه کمبود مجاز، نتایج برای دو حالت فصلی و متوسط بسیار به هم نزدیک می‌شوند. در حالت فصلی نیز اضافه کردن قیود سیاست بهره‌برداری منجر به افزایش ظرفیت مخزن خواهد شد که گاهی این افزایش نسبت به حالت متوسط شدیدتر خواهد بود. ضمناً برای هر دو اعتمادپذیری متوسط و فصلی، تأثیر آستانه کمبود مجاز در مقایسه با اعتمادپذیری بیشتر است. موردی که معمولاً در مطالعات قدیم و جدید کمتر به آن توجه زیادی شده و تمرکز مطالعات بیشتر بر روی پارامتر اعتمادپذیری بوده و آستانه کمبود مجاز علیرغم تأثیرگذاری بسیار زیاد، کمتر مورد بحث قرار گرفته است.

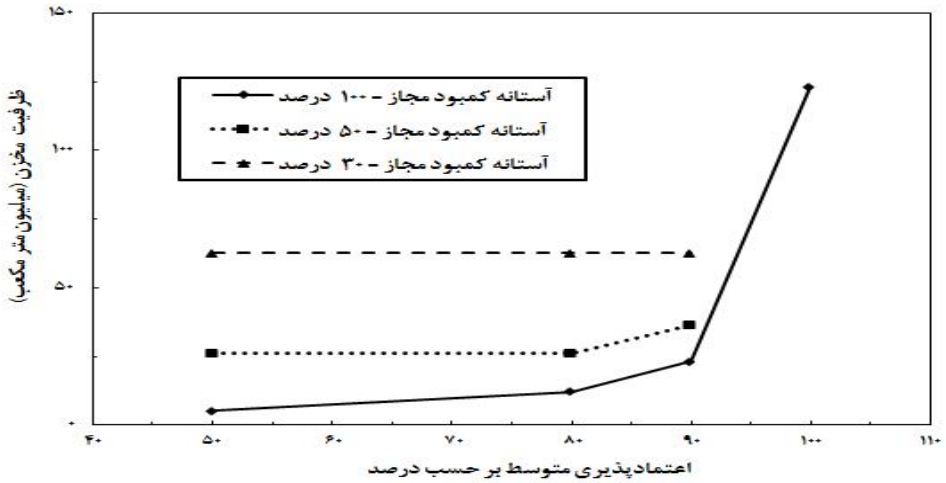
شکل‌های (۲) و (۳) تغییرات ظرفیت مخزن را در دو حالت اعتمادپذیری متوسط و فصلی و برای حدود مختلف اعتمادپذیری و آستانه کمبود مجاز و برای حالت Free Policy نشان می‌دهند. شکل‌های (۴) و (۵) نیز مقادیر ظرفیت کمینه مخزن را برای اعتمادپذیری‌های مختلف و برای سیاست‌های مختلف بهره‌برداری و فقط برای آستانه کمبود مجاز ۱۰۰ درصد، در دو حالت اعتمادپذیری متوسط و فصلی نشان می‌دهند. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که ظرفیت مخزن بهینه در حالت قیود اعتمادپذیری فصلی بیشتر از حالت متوسط است و در حدود اعتمادپذیری کم و آستانه کمبود مجاز بالا، این افزایش زیاد بوده، لیکن در حدود اعتمادپذیری بالا و آستانه کمبود مجاز پایین (شرایط سخت‌گیرانه)، افزایش ظرفیت بسیار اندک است. از میان تمامی پارامترهای مؤثر بر ظرفیت نهایی منتخب، بیشترین تأثیر مربوط به سیاست بهره‌برداری، پس‌ازآن آستانه کمبود مجاز و نهایتاً اعتمادپذیری است. موضوعی که در مطالعات پیشین کمتر به آن توجه شده است. اعتمادپذیری فصلی و متوسط نیز در شرایط غیر سخت‌گیرانه تأثیر نسبتاً زیادی داشته و در شرایط سخت‌گیرانه خیلی مؤثر نبوده و نتایج را دستخوش تغییر نمی‌کند.

Archive of SID

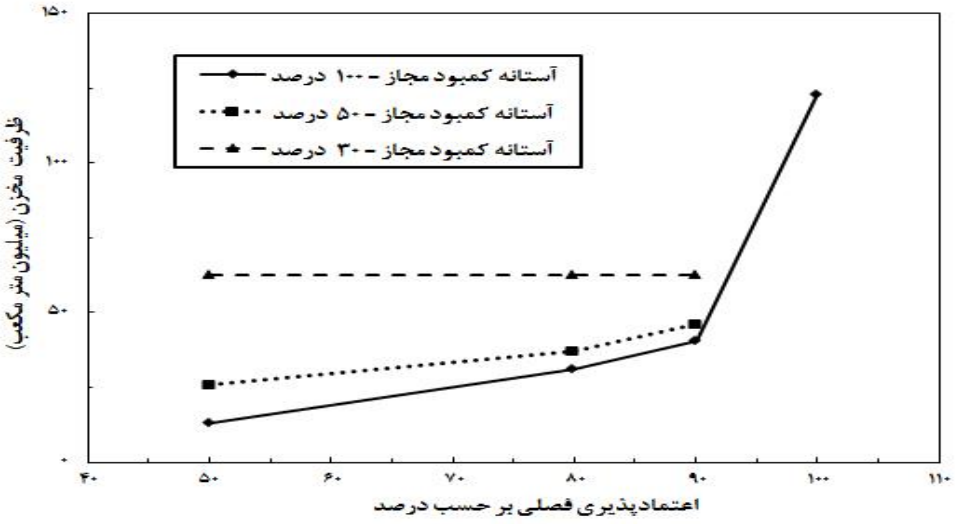
www.SID.ir

جدول ۴. ظرفیت کمینه مخزن برای مقادیر اعتمادپذیری فصلی و آستانه کمبود مجاز از پیش تعیین‌شده (میلیون مترمکعب)

سیاست بهره‌برداری	آستانه کمبود مجاز به درصد	اعتمادپذیری متوسط تأمین ۱۰۰٪ نیاز			
		۵۰	۸۰	۹۰	۱۰۰
Free Policy	۱۰۰	۱۳/۱	۳۱/۱	۴۰/۷	۱۲۳/۲
S-type		۱۶۸/۰	۲۰۵/۳	۲۴۸/۳	-----
SQ-type		۱۷/۲	۶۸/۴	۸۷/۴	-----
SOP		۴۰/۰	۹۲/۲	۱۲۳/۲	۱۲۳/۲
Free Policy	۵۰	۲۶/۱	۳۷/۳	۴۶/۰	
S-type		۲۷۲/۶	-----	-----	
SQ-type		۷۴/۷	-----	-----	
SOP		۱۱۸/۱	۱۱۸/۱	۱۲۳/۲	
Free Policy	۳۰	۶۲/۷	۶۲/۷	۶۲/۷	
S-type		-----	-----	-----	
SQ-type		-----	-----	-----	
SOP		۱۲۳/۲	۱۲۳/۲	۱۲۳/۲	

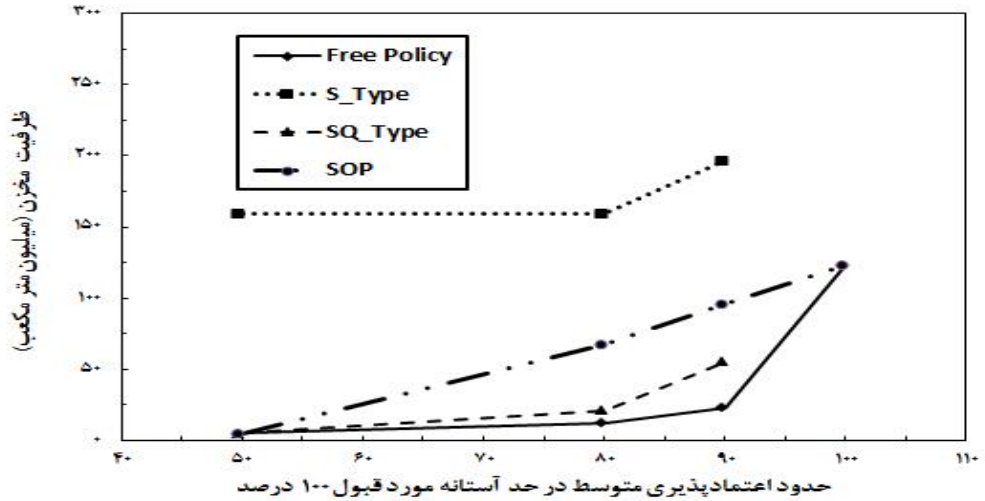


شکل ۲. تغییرات ظرفیت مخزن با مقادیر اعتمادپذیری متوسط و آستانه کمبود مجاز از پیش تعیین‌شده برای حالت Free Policy

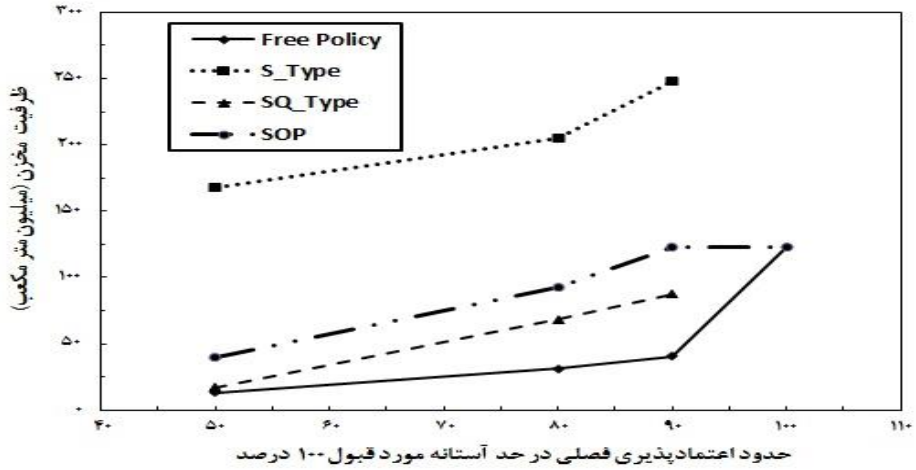


شکل ۳. تغییرات ظرفیت مخزن با مقادیر اعتمادپذیری فصلی و آستانه کمبود مجاز از پیش تعیین‌شده برای حالت Free Policy

www.SID.ir



شکل ۴. تغییرات ظرفیت مخزن با مقادیر اعتمادپذیری متوسط مختلف و آستانه کمبود موردقبول ۱۰۰ درصد در سیاست‌های بهره‌برداری مختلف



شکل ۵. تغییرات ظرفیت مخزن با مقادیر اعتمادپذیری فصلی مختلف و آستانه کمبود موردقبول ۱۰۰ درصد در سیاست‌های بهره‌برداری مختلف

تا این مرحله از تحلیل نتایج به بررسی مقادیر مربوط به ظرفیت مخزن بهینه برای حالات مختلف قیود حاکم بر مسئله پرداخته شد و نحوه تغییر این مقادیر تشریح گردید. در ادامه نتایج برای یک حالت خاص و چهار حالت سیاست بهره‌برداری Free Policy، S-type، SQ-type و سیاست بهره‌برداری استاندارد (SOP)، متوسط رهاسازی از مخزن سد ((r(y,m)) برای ماه‌های مختلف سال ارائه گردیده است. این حالت خاص مربوط به اعتمادپذیری ۸۰ درصد متوسط و آستانه کمبود مجاز ۱۰۰ درصد است. این مقادیر در جدول (۵) و شکل (۶) ارائه گردیده است. همان‌گونه که در شکل (۶) نشان داده شده است، متوسط درازمدت رهاسازی جریان از مخزن در ماه‌های مختلف سال در دو حالت Free Policy و SQ-type بسیار نزدیک به هم می‌باشند. با این تفاوت که مقادیر مربوط به حالت Free Policy در ماه‌های با نیاز کم، از حالت SQ-type به میزان جزئی بیشتر و در برخی ماه‌های با نیاز بالا به میزان قابل‌توجهی از حالت SQ-type کمتر است و اگر بپذیریم که حالت Free Policy بهترین عدد برای ظرفیت مخزن را می‌دهد و اضافه کردن قید سیاست بهره‌برداری منجر به افزایش عدد مربوط به ظرفیت مخزن سد می‌گردد، به نظر منطقی خواهد بود که کم‌تر بودن ظرفیت مخزن منجر به افزایش حجم خروجی از مخزن سد در ماه‌های پر آب و کاهش آن در ماه‌های خشک‌تر می‌شود که این دو حالت به ترتیب مقارن با ماه‌های با نیاز کم و سپس ماه‌های با نیاز بالا و برای حالت Free Policy هستند. در مورد سیاست بهره‌برداری S-type نیز می‌توان عنوان نمود که اضافه کردن قید سیاست بهره‌برداری مربوط به این حالت که در مقاله نیز به‌عنوان سیاست بهره‌برداری بد معرفی گردید، به‌شدت ظرفیت نهایی مخزن را افزایش می‌دهد. این افزایش نیز منجر به ذخیره شدن جریان ورودی به مخزن در ماه‌های پر آب سال می‌گردد و در ماه‌های با نیاز بالا میزان خروجی بیشتر می‌گردد.

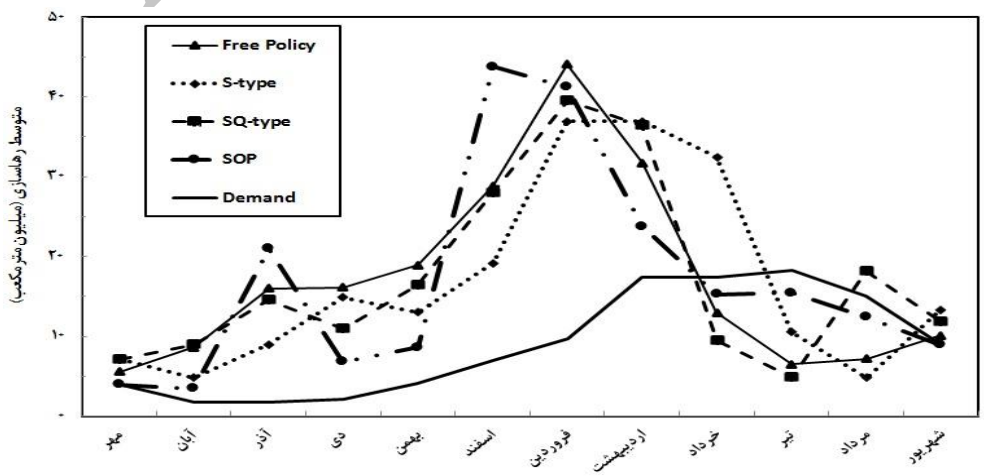
www.SID.ir

جدول ۵. متوسط رهاسازی جریان از مخزن سد در ماه‌های مختلف در طول دوره آماری شبیه‌سازی‌شده با اعتمادپذیری متوسط ۵۰ درصد و حد آستانه کمبود موردقبول ۱۰۰ درصد به روش ضمنی در سیاست‌های بهره‌برداری مختلف به میلیون مترمکعب

سیاست بهره‌برداری	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
Free Policy	۵/۶	۸/۶	۱۶/۰	۱۶/۱	۱۸/۹	۲۸/۹	۴۴/۱	۳۱/۷	۱۳/۰	۶/۵	۷/۲	۱۰/۱	۲۰۶/۷
S-type	۷/۲	۴/۹	۹/۰	۱۴/۹	۱۳/۰	۱۹/۲	۳۶/۹	۳۶/۹	۳۲/۵	۱۰/۶	۴/۸	۱۳/۳	۲۲۰۳
SQ-type	۷/۱	۹/۰	۱۴/۶	۱۱/۰	۱۶/۴	۲۸/۰	۳۹/۶	۳۶/۴	۹/۴	۴/۹	۱۸/۲	۱۱/۸	۲۰۶/۲
SOP	۴/۰	۳/۵	۲۱/۰	۶/۸	۸/۶	۴۳/۸	۴۱/۳	۲۳/۸	۱۵/۳	۱۵/۵	۱۲/۴	۸/۹	۲۰۴/۷
نیاز کشاورزی شبکه آبیاری	۴/۰	۱/۷	۱/۸	۲/۱	۴/۲	۷/۰	۹/۷	۱۷/۴	۱۷/۴	۱۸/۲	۱۵/۰	۹/۰	۱۰۷/۶

روند خروجی از سد در ماه‌های مختلف سال برای سیاست بهره‌برداری استاندارد (SOP) تقریباً مشابه سیاست بهره‌برداری Free Policy و SQ-Type است، با این تفاوت که متوسط خروجی در ماه‌های پر آب سال برای این روش به دلیل ظرفیت بیشتر سد، نسبت به دو روش دیگر کمتر بوده و جریان در ظرفیت مخزن ذخیره می‌گردد و در ماه‌های کم آب و با نیاز بالا، خروجی بیشتر شده است. بدین ترتیب، سیاست بهره‌برداری SOP با بالا بردن ظرفیت مخزن توانسته در ماه‌های با نیاز آبی بالا تأمین نیاز خوبی را داشته باشد. هرچند ظرفیت بهینه مخزن، در سیاست بهره‌برداری SOP در حدود اعتمادپذیری پایین، در مقایسه با حالت Free Policy و SQ-type افزایش زیادی خواهد داشت. لیکن این افزایش به نسبت حالت S-type کمتر است. به‌طورکلی می‌توان عنوان نمود که عدم تأمین نیازها بیشتر در ماه‌های با نیاز بالا صورت می‌پذیرد. این موضوع در حالتی که تابع هدف مدل بهینه‌سازی استفاده شده بر مبنای بیشینه کردن سود خالص باشد، می‌تواند تأثیر بسزایی داشته باشد. به‌این‌ترتیب که عدم تأمین نیاز در ماه‌های خشک می‌تواند خسارت بیشتری نسبت به ماه‌های تر به دنبال داشته باشد. هرچند که بهره‌برداری بر اساس سیاست‌های غیر از Free Policy تا اندازه‌ای مشکل عدم تأمین نیاز در ماه‌های با نیاز بالا را کم می‌کند، لیکن منجر به افزایش ظرفیت مخزن سد و هزینه احداث سد مخزنی می‌گردد.

همچنین حجم جریان خروجی با سیاست بهره‌برداری S-type دارای یک شیفت روبه‌جلو ازنقطه‌نظر زمانی نسبت به سایر سیاست‌های بهره‌برداری است. به‌این‌ترتیب که به‌عنوان‌مثال خروجی در ماه خرداد مربوط به سیاست بهره‌برداری S-type معادل خروجی از مخزن سد در ماه اردیبهشت مربوط به سیاست‌های بهره‌برداری دیگر است. به‌طورکلی رهاسازی حجم جریان متوسط درازمدت در ماه‌های مختلف سال برای سیاست بهره‌برداری Free Policy و SQ-type بسیار نزدیک به یکدیگر هستند، ولی در مورد سیاست بهره‌برداری S-type باید گفت که نتایج متفاوت از دو روش دیگر است و با یک شیفت زمانی به سمت عقب برای نتایج مربوط به روش S-type، نتایج به دو روش دیگربسیار نزدیک می‌گردد. ضمناً روش SOP نیز با سه روش دیگر تقریباً متفاوت است ولی شیفت زمانی موجود در روش S-type در این روش مشاهده نمی‌شود. متوسط خروجی جریان کل سال برای روش‌های مختلف موردمطالعه در این مقاله علیرغم، ظرفیت مخزن متفاوت، تقریباً یکسان بوده و تفاوت چندانی ندارد.



شکل ۶. تغییرات متوسط رهاسازی جریان از مخزن سد در ماه‌های مختلف سال در طول دوره آماری شبیه‌سازی‌شده با اعتمادپذیری متوسط ۸۰ درصد و آستانه کمبود موردقبول ۱۰۰ درصد به روش ضمنی در سیاست‌های بهره‌برداری مختلف

Archive of SID

www.SID.ir

جمع‌بندی

در این مقاله تأثیر حدود اعتمادپذیری و آستانه کمبود مجاز در تأمین نیازهای شبکه کشاورزی پایاب یک سد مخزنی، برای سیاست‌های بهره‌برداری مختلف (Free Policy، S-type، SQ-type و SOP) با روش ضمنی در تعیین کمینه ظرفیت مخزن بهینه سد مطالعه گردیده است. این مطالعه نشان داد که تأثیر این پارامترها (اعتمادپذیری و آستانه کمبود مجاز) زیاد بوده و ظرفیت نهایی را بسیار تحت تأثیر قرار می‌دهد (علی‌الخصوص پارامتر آستانه کمبود مجاز). ضمناً سیاست بهره‌برداری منتخب نیز در جواب نهایی بسیار مؤثر است. ازاین‌رو مدل بهینه‌سازی مخزن سد با تابع هدف بیشینه کردن سود خالص باید در مطالعات مدنظر قرار گرفته و تابع هدف کمینه کردن ظرفیت مخزن، نمی‌تواند جواب دقیقی ارائه نماید. یک راه‌حل می‌تواند این باشد که در یک مدل کامل، پارامترهای مفروض در یک مدل ساده‌شده (مدلی که در آن کمینه کردن ظرفیت مخزن به‌عنوان تابع هدف در نظر گرفته می‌شود) (مانند، اعتمادپذیری، آستانه کمبود مجاز و سیاست بهره‌برداری)، بهینه شده و در موارد مشابه استفاده گردد.

در این مطالعه نشان داده شد که تأثیر پارامتر آستانه کمبود مجاز در جواب نهایی می‌تواند از تأثیر پارامتر اعتمادپذیری بیشتر باشد. این در حالی است که در اکثر مطالعات فقط پارامتر اعتمادپذیری مدنظر قرار می‌گیرد. تأثیر زیاد این دو پارامتر مفروض بر جواب نهایی مسئله (ظرفیت بهینه مخزن) نشان می‌دهد، مدل‌هایی که بر پایه اعتمادپذیری مفروض حل می‌گردند، نمی‌تواند جواب دقیقی برای ظرفیت مخزن بهینه ارائه دهد، مگر اینکه پارامتر اعتمادپذیری مفروض و آستانه کمبود مجاز قبلاً بهینه شده باشند.

REFERENCES

Alizadeh, H., & Mousavi, S. J. (2013). Stochastic order-based optimal design of a surface reservoir–irrigation district system. Journal of Hydroinformatics, 15(2), 591-606.

Alizadeh, H. (2013). Optimization of Irrigation Planning under Uncertainty (Doctoral dissertation, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic)).

Cai, X., McKinney, D. C. (1999). A modeling framework for sustainable water resources management (Doctoral dissertation, Center for Research in Water Resources, University of Texas at Austin).

Cai, X., McKinney, D. C., Lasdon, L. S. (2003). Integrated hydrologic-agronomic-economic model for river basin management. *Journal of water resources planning and management*, 129(1), 4-17.Colorni, A., Fronza, G. (1976). Reservoir management via reliability programing, *Water Resources Research*, 12(1), February.

Dudley, N. J., Musgrave, W. F., Howell D. T. (1972). Irrigation planning 3. The best size of irrigation area for a reservoir, *Water Resources Research*, 8(1), February.

Dudley, N. J., Burt, O. R. (1973). Stochastic reservoir management and system design for irrigation, *Water Resources Research*, 9(3), June.

Datta, B., Burges, S. (1984). Short-term, single, multiple purpose reservoir operation: The importance of loss functions and forecast errors, *Journal of Water Resources Research*, 20(9), Pages 1167-1176, September.

Houck, M. H., Datta, B. (1981). Performance of a stochastic optimization model for reservoir design and management With Explicit Reliability Criteria, *Journal of Water Resources Research*, 17(4), Pages 827-832, August.

Hyde, K. M., Maier H. R., Colby, C. B. (2004). Reliability-based approach to multicriteria decision analysis for water resources, *Journal of Water Resources Planning and Manageent*, ASCE, (2004), 429-438, November/December.

Jain, S. K., Bhunya, P. K. (2010). Reliability, resilience, and vulnerability of a multipurpose storage reservoir, *Hydrological Sciences Journal*, 53(2), April.

Jery, R. Stedinger. (1984). The performance of LDR models for preliminary design and reservoir operation, *Water Resources Research*, 20(2), Pages 215-224, February.

Karamouz, M., Houck, M. H. (1982). Annual and monthly operation rules generated by deterministic optimization, *Journal of Water Resources Research*, 18(5), Pages 1337-1344, October.

Loucks, D. P., Dorfman, P. J. (1975). An evaluation of some linear decision rules in the chance-constrained model for reservoir planning and operation, *Journal of Water Resources Research*, 11(6), December.

Loucks, D. P., van Beek, E., Stedinger, J. R., Villars, J. P.M. D. (2005). *Water Resources Systems Planning and Management An Introduction to Methods, Models, and Applications*, Published in 2005 by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

Luthra, S. S., Arora, S. R. (1976). Optimal design of single reservoir system using and release policy, *Journal of Water Resources Research*, 12(4), August.

Marques, G. F., Lund, J. R., Howitt, R. E. (2005). Modeling irrigated agricultural production and water use decisions under water supply uncertainty, *Water Resources Research*, Vol. 4.

Archive of SID

www.SID.ir

Moradi-jalal, M., Bozorg Haddad, O., Karnney, B. W., Marino, M. A. (2007). Reservoir operation in assigning optimal multi-crop irrigation areas, *agricultural water management*, Vol. 90, 149-159.

Mousavi, S. J., Alizadeh, H., Ponnambalam, K. (2014). Storage-yield analysis of surface water reservoir: the role of reliability constraints and operating policies, *Stoch Environment Research and Risk Assessment*, June.

Neelakantan, T.R., and Pundrikanthan, N.V. (1999). Hedging rule optimization for water supply Reservoirs System, *Water Resources Research*, 13(6), 409-426.

Simonovic, S. P., Marino, M. A. (1980). Reliability programing in reservoir management 1. Single multipurpose reservoir, *Water Resources Research*, 16(5), Pages 844-848, October.

Strycharczyk, J. B., Stedinger, J. R. (1987). Evaluation of a reliability programming reservoir model, *Water Resources Research*, 23(2), Pages 225-229, February.

Tung, Y. K. T., Yen, B. C., Melching, C. S. (2005). *Hydrosystems Engineering Reliability Assessment and Risk Analysis*, The McGraw-Hill Companies, Inc.

Vedula, S., Mujumdar, P. P. (1992). Optimal reservoir operation for irrigation of multiple crops, *Water Resources Research*, 28(1), PAGES 1-9.

Wurbs, R. A. (2005). Modeling river/reservoir system management, water allocation, and supply reliability, *Journal of Hydrology*,300, 100-113.

Archive of SID

www.SID.ir