Archive of SID

نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال پنجم، شماره سوم، بهار ۱۳۹۵

ISSN 2251-7480

تدوین قوانین بهره‌برداری بهینه و به‌هنگام مخازن سدها با استفاده از شبکه‌های بیزی: کاربرد مدل حل اختلاف گروهی

سید احسان شیرنگی[1*]، سمیرا خالقی[2]، فهیمه بقایی[3]، عباس منصوری[4] و احسان پورمند[5]

۱) استادیار گروه مهندسی عمران، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

*) مسئول مکاتبات: shirangi@kiau.ac.ir

۲) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران-سازه هیدرولیکی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

۳) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران آب، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

٤) استادیار گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۵) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران آب، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی،تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۰۹/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۱۱/۲۹

چکیده

در بهره‌برداری بهینه کمّی و کیفی از مخزن سدها به دلیل وجود تصمیم‌گیران و ذینفعان متعدد با اهداف و مطلوبیت‌های متفاوت و همچنین تعداد زیاد متغیرهای حالت و تصمیم، مساله تصمیم‌گیری بسیار پیچیده و امری ضروری محسوب می‌شود. در این مقاله با هدف رفع‌اختلاف بین تصمیم‌گیران در بهره‌برداری از مخزن سد، کاربرد یک مدل رفع‌اختلاف گروهی چند نفره جهت تعیین نقطه بهینه بر روی منحنی تبادل بدست آمده از تلفیق مدل شبیه‌سازی کیفی یک بعدی مخزن و مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک حاصل از تحقیقات پیشین به نحوی که مطلوبیت همه تصمیم‌گیران از لحاظ کمّی و کیفی تامین شود، ارائه می‌گردد. برای تدوین قوانین و سیاست‌های بهره‌برداری به‌هنگام کمّی - کیفی از مخزن سد، استفاده از مدل شبیه‌سازی هوشمند شبکه‌های بیزی که دارای قابلیت خروجی احتمالاتی می‌باشد پیشنهاد می‌شود. مطالعه موردی، سد پانزده خرداد ایران است که مخزن آن دارای مشکل قابل توجه کیفی است. نتایج حاصل نشان‌دهنده کارایی مناسب مدل‌های ارائه شده در حل‌اختلاف بین سازمان‌های تصمیم‌گیرنده و تعیین سیاست‌های بهینه و به‌هنگام بهره‌برداری کمّی - کیفی از مخزن می‌باشد.

کلید واژه‌ها: الگوریتم ژنتیک؛ بهره‌برداری مخزن؛ رفع اختلاف گروهی؛ شبکه‌های بیزی

مقدمه

در بهره‌برداری از سیستم‌های منابع آب به خصوص مخزن سدها، به‌دلیل تعداد زیاد تصمیم‌گیران و ذینفعان که اغلب دارای اهداف، دیدگاه‌ها و اولویت‌های متفاوت هستند، تصمیم‌گیری امری بسیار ضروری می‌باشد. در چنین حالاتی تصمیم نهایی باید به نحوی اتخاذ شود که کلیّه مطلوبیت‌ها و اختلاف نظرهای تصمیم‌گیران در نظر گرفته شود. استفاده از نظریه بازی‌ها و مدل‌های رفع‌اختلافی که در آن امکان حضور گروهی از تصمیم‌گیران فراهم شده باشد، می‌تواند برای رفع‌اختلاف بین طرف‌های درگیر در بهره‌برداری از مخازن سدها بسیار مفید واقع شود. از سوی دیگر استفاده از مدل‌های نوین شبیه‌سازی هوشمند برای تدوین قوانین و سیاست‌های بهره‌برداری بهینه و به‌هنگام، بسیار حائز اهمیت است (لاله زاری و همکاران، ۱۳۹٤).

www.SID.ir

Archive of SID

محققان با ارائه یک مدل برنامه‌ریزی پویای غیرقطعی فازی سیاست‌های بهره‌برداری بهینه از مخزن را توسعه دادند و همچنین از مدل شبکه عصبی مصنوعی برای شبیه‌سازی کیفی آب مخزن استفاده کردند. محدودیت اصلی این مدل، عدم در نظر گرفتن پروفیل قائم غلظت متغیرهای کیفی در مخزن بود *(Chaves et al.,2004)*. در ادامه محققان با علم به اینکه حضور چندین تصمیم‌گیرنده با مطلوبیت‌های متفاوت در بهره‌برداری از سیستم‌های منابع آب می‌تواند منجر به بروز تنش و اختلاف نظرهای جدّی بین مدیران گردد، لذا با تلفیق مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک و مدل یک بعدی شبیه‌سازی کیفی مخزن و همچنین با تاکید بر رفع اختلاف بین تصمیم‌گیران و استفاده‌کنندگان، ساختار جدیدی برای بهره‌برداری بهینه کمّی و کیفی از مخازن سدها و سیستم‌های رودخانه ـ مخزن ارائه کردند. در مدل پیشنهادی، از تابع ضربی *Nash* به عنوان تابع هدف استفاده شد که قابلیت اطمینان تامین نیازهای آبی پایین‌دست، حجم ذخیره مخزن و کیفیت آب را دارا بود. زمان اجرای بالای مدل ارائه شده به همراه مشخص نبودن مراحل چانه‌زنی طرف‌های درگیر از مشکلات اصلی این مدل‌ها محسوب می‌گردید *(kerachian and Karamouz 2006, 2007)*. در ادامه *Shirangi* و **همکاران** *(2008)* نخست با ارائه یک فرض ساده‌کننده، مشکلات محاسباتی و زمان بالای اجرای مدل‌ها ارائه شده توسط *karamouz* و *kerachian (2006,2007)* را کاهش داده و ثابت کردند که این فرض ساده‌کننده تاثیری در کاهش دقت محاسباتی جواب‌ها ندارد. سپس در گام دوم، با تغییر تابع هدف و تلفیق مدل شبیه‌سازی یک بعدی مخزن و مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک منحنی تبادل بهینه‌ای با اهداف کمی و کیفی ارائه کردند. ایشان به منظور در نظر گرفتن اختلافات ممکن در بین تصمیم‌گیران و تاثیرپذیران، برای نخستین بار از مدل چانه‌زنی تکاملی *Young* جهت تعیین نقطه بهینه بر روی منحنی تبادل استفاده کردند. دو جانبه‌بودن مدل چانه‌زنی *Young* و امکان حضور تنها دو گروه تصمیم‌گیرنده، در حالیکه در مساله بهره‌برداری مخزن تصمیم‌گیران و ذینفعان متعددی وجود دارند، از محدودیت‌های اصلی آن محسوب می‌گردید. در ادامه محققین با استفاده از مدل هوشمند شبیه‌سازی تطبیقی عصبی- فازی *(ANFIS)* متغیرهای کیفی مخزن سد را شبیه‌سازی و با تلفیق آن با یک مدل الگوریتم ژنتیک ضمن کاهش زمان اجرای مدل‌های موجود، امکان افزایش سرعت در تدوین سیاست‌ها و قوانین بهینه و به‌هنگام بهره‌برداری کمّی و کیفی مخزن با دقت مناسب را فراهم کردند. در این مدل از تابع ضربی *Nash* به عنوان تابع هدف استفاده شد و با مقایسه نتایج با مطالعات قبلی ثابت گردید که جواب‌ها از دقت مناسبی برخوردار می‌باشند (*Soltani et al., 2010*).

در این مقاله با کمک از نظریه بازی‌ها و با استفاده از یک مدل رفع‌اختلاف گروهی جدید که در آن امکان حضور چندین گروه تصمیم‌گیرنده با تعداد اعضا نامحدود وجود دارد، بهترین نقطه بر روی منحنی تبادل بهینه کمی و کیفی ارائه شده در مطالعات قبلی، به نحوی که مطلوبیت کلیه گروه‌های ذینفع تامین شود، تعیین می‌گردد. برای تدوین قوانین و سیاست‌های به‌هنگام بهره‌برداری مخزن سد، از مدل هوشمند شبکه بیزی استفاده می‌شود. کارایی مدل‌ها با استفاده از اطلاعات سد ۱۵ خرداد ایران که مخزن آن دارای مشکلات قابل توجه کیفی است ارزیابی می‌شود.

مواد و روش‌ها

در یک فرآیند تصمیم‌گیری، چنانچه تعداد تصمیم‌گیران بیش از یک نفر باشد، تصمیم‌گیری به علت وجود اهداف، دیدگاه‌ها و اولویت‌های متفاوت و متضاد تصمیم‌گیران، مشکل است. در چنین حالاتی تصمیم نهایی باید به گونه‌ای باشد که کلیه این مطلوبیت‌ها، اختلاف نظرها و همچنین قدرت نسبی تصمیم‌گیران در آن لحاظ شده باشد. در یک بازی دوجانبه چنانچه u_1 و u_2 توابع مطلوبیت تصمیم‌گیران، و (d_1, d_2) نقطه عدم توافق در فضا یا

www.SID.ir

Archive of SID

صفحه u_1 و u_2 باشد، مجموعه کلیه انتخاب‌های ممکن (S) به صورت مجموعه نقاطی که در آن نقاط تک تک تصمیم‌گیران سهمی بیش از مقدار عدم توافق به دست می‌آورند قابل تعریف است. در واقع به دلیل اینکه بازکنان، سهمی بیش از عدم توافق در بازی بدست می‌آورند از انگیزه کافی برای شرکت در بازی برخوردار خواهند بود. *Nash (1953)* برای نخستین بار نحوه محاسبه جواب‌هایی برای مسأله چانه‌زنی را بر اساس چهار اصل عقلانیت فردی، نامربوط بودن درجه‌بندی مطلوبیت، استقلال آلترناتیوهای نامربوط و قرینگی ارائه و اثبات کرد که تنها یک راه‌حل با رعایت اصول چهارگانه فوق برای چانه‌زنی بین گروه‌ها وجود دارد. نش برای هر مسأله چانه‌زنی $B=(S,(u_1,d_1),(u_2,d_2))$ یک تابع ضربی g_B و مجموعه همه جواب‌های بیشینه کننده g_B که با $\sigma(B)$ نشان داده می‌شود را به صورت زیر تعریف نمود:

$$g_B(s)=[u_1(s)-d_1][u_2(s)-d_2] \qquad (۱)$$

$$\sigma(B)=\{s\in S: g_B(s)=\max_{t\in S} g_B(t)\} \qquad (۲)$$

در روابط فوق $u_1(s)$ و $u_2(s)$ به ترتیب تابع مطلوبیت تصمیم‌گیرنده اول و دوم و d_1 و d_2 نقاط عدم توافق تصمیم‌گیران اول و دوم است. وی ثابت کرد در صورتی که مجموعه تخصیص مطلوبیت‌ها U محدود و بسته باشد، مجموعه $\sigma(B)$ تهی نمی‌باشد و مسأله حل اختلاف دارای جواب است. جواب نش برای یک بازی چانه‌زنی از توزیع $(x,1-x)$ که اصول چهارگانه را تأمین نماید، بدست می آید. برای حالتی که بیش از دو بازیکن وجود داشته باشد، جواب نش بیانگر توزیع $(x_1,x_2,\ldots,x_n)$ است که $x_1+x_2+\ldots+x_n=1$، به گونه‌ای که حاصل‌ضرب منافع حاصل از توافق نهایی را در مقایسه با نقطه عدم توافق بیشینه می‌کند. در این تئوری جواب نهایی مسأله چانه‌زنی از عبارت زیر حاصل خواهد شد:

$$\begin{aligned} &Max \prod_{i=1}^{n}(u_i-d_i) \\ &u_i\geq d_i \qquad i=1,\ldots,n \end{aligned} \qquad (۳)$$

در رابطه فوق، u_i و d_i به ترتیب تابع مطلوبیت و نقطه عدم توافق تصمیم‌گیرنده iام می‌باشد. *Chae and Heidhues (2004)* نشان دادند که فقط چهار اصل نش برای رسیدن به یک راه حل یکتا کافی نیست. ایشان با در نظر گرفتن مطلوبیت‌های نماینده گروه تصمیم‌گیرنده و اضافه کردن این اصل به اصول چهارگانه نش یک راه حل یکتا بدست آوردند. طبق این روش هر گروه تصمیم‌گیرنده، نماینده‌ای را برای چانه‌زنی معرفی می‌کند و نتیجه‌ای که این نماینده پس از چانه‌زنی دریافت می‌کند، برابر با مقداری است که اگر هر یک از تصمیم‌گیران در چانه‌زنی شرکت می‌کردند. لذا نتیجه مورد تایید کلیه تصمیم‌گیران آن گروه می‌باشد. ترکیب دو اصل نماینده یک گروه همگن و قرینگی سبب می‌شود که در چانه‌زنی با گروه‌ها بصورت غیرتبعیض‌آمیز برخورد شود. همچنین دو اصل نامربوط بودن درجه‌بندی مطلوبیت و استقلال آلترناتیوهای نامربوط، سبب بسط این روش از گروه‌های همگن به گروه‌های غیرهمگن شده است. ایشان اثبات کردند که جواب یکتا چانه‌زنی از عبارت زیر حاصل خواهد شد:

$$MAX_{u\in S,u\geq d}\prod_{j=1}^{m}\left(\prod_{i\in G_j}(u_i-d_i)^{\frac{1}{c_j}}\right) \qquad (٤)$$

در رابطه فوق u_i تابع مطلوبیت تصمیم‌گیرنده iام، d_i نقطه عدم توافق تصمیم‌گیرنده iام، c_j تعداد اعضای سازمان jام و G_j ساختار گروهی سازمان jام و پارامتر m تعداد گروه های تصمیم گیرنده می باشد. در این مدل چانه‌زنی در دو سطح انجام می‌پذیرد. سطح اول، چانه‌زنی برون گروهی و بین گروه‌های تصمیم‌گیرنده و سطح دوم، چانه زنی درون گروهی که در داخل هر گروه و بین اعضاء آن انجام می‌شود. این نکته قابل توجه است که گروه‌ها قبل از این که وارد سطح اول شوند، مطلوبیت آنها با تکنیک

www.SID.ir

Archive of SID

میانگین‌گیری هندسی، همگن می‌شود و نتیجه حاصل از چانه‌زنی برون‌گروهی، برای هر گروه به عنوان سهم گروه در نظر گرفته شده و درون هر یک از گروه‌ها، بین اعضاء تقسیم می‌شود. در این مقاله، با استفاده از مدل چانه‌زنی و حل اختلاف گروهی *Chae and Heidhues* (2004) نقطه مطلوب و مورد توافق سازمان‌ها و تصمیم‌گیران ذی‌نفع بر روی منحنی بهینه تبادل با اهداف کمی و کیفی ارائه شده توسط *Shirangi* و همکاران (2008) بدست می‌آید، سپس سهم بهینه هر یک از طرفین بازی با توجه به تامین مطلوبیت آن‌ها مشخص خواهد شد. در ادامه و با استفاده از نقطه بهینه که مورد تایید طرفین بازی می‌باشد سری زمانی برداشت از دریچه‌ها برای یک بازه زمانی مشخص بدست می‌اید. جهت تدوین قوانین و سیاست‌های به‌هنگام بهره‌برداری، آموزش و صحت‌سنجی مدل هوشمند شبکه بیزی برای سد ۱۵ خرداد ایران که دارای مشکل قابل توجه کیفی است، انجام می‌شود.

شبکه‌های بیزی

شبکه‌های بیزی ساختارهای محاسباتی هستند که توسط آن‌ها توزیع احتمالاتی پیوسته توأم مجموعه‌ای از متغیرهای اثرگذار بر هم از طریق داده‌های مشاهداتی استنباط می‌شوند. این مدل‌های هوشمند، از مجموعه گره‌ها و کمان‌های ارتباطی تشکیل شده‌اند. گره‌ها نماینده متغیرهای تصادفی گسسته‌سازی شده هستند. به دو گره (متغیر) که توسط یک کمان ارتباطی به هم متصل شده‌اند یک لبه گفته می‌شود. لبه، خطی جهت‌دار است که متغیر تاثیرگذار را به متغیر تاثیرپذیر متصل می‌نماید. توزیع احتمالاتی توأم یک مجموعه از متغیرها با فرض مستقل بودن آن‌ها، از حاصل‌ضرب توزیع احتمالاتی شرطی آن‌ها به‌دست می‌آید.

$$P(x_1, x_2, ..., x_n) = \prod_{i=1}^{n} P(x_i \mid \pi(x_i)) \qquad (۵)$$

که در آن x_i، i امین مقدار متغیر تصادفی، $P(x_1, x_2, ..., x_n)$ احتمال تؤام مقادیر $(x_1, x_2, ..., x_n)$ و $\pi(x_i)$ ارزش کمی (مقادیر کمی) مجموعه علل x_i می‌باشد. برای مثال، اگرمتغیر B به A و متغیر C به A و B وابسته باشد و احتمالات رخداد متغیرهای A, B, C، به ترتیب با a, b, c نشان داده شوند، رابطه ٦ برقرار خواهد بود:

$$P(a,b,c) = P(a) \times P(b \mid a) \times P(c \mid a,b) \qquad (٦)$$

ساختار محاسبات در شبکه‌های بیزی بر مبنای تئوری بیز می‌باشد. قانون مورد استفاده به منظور به‌روزکردن گمان ما در مورد رخداد واقعه e، با فرض اینکه h واکنش مربوط به رخداد e می‌باشد، به صورت زیر است:

$$P(h \mid e) = \frac{P(e \mid h) \times P(h)}{P(e)} \qquad (۷)$$

شکل ۱ مثالی ساده از یک شبکه بیزی را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، متغیرها A، B، D، E و C می‌باشند. کمان جهت‌دار متصل شده بین متغیرها، به‌طور مثال بین D و B نشان از تاثیر متغیر B بر D دارد. همچنین وجود کمان‌های جهت‌دار بین گره‌های D، B، A و E بیانگر آن است که، متغیرهای A و B تنها به صورت غیرمستقیم و توسط متغیر دیگری به نام D است که بر E اثر می‌گذارند. از سوی دیگر عدم وجود کمان جهت‌دار بین متغیرها، مانند C، نیز یک راه بیان استقلال و عدم وابستگی آن‌ها می‌باشد. فرم ریاضی روابط بین متغیرهای این مثال به صورت زیر است:

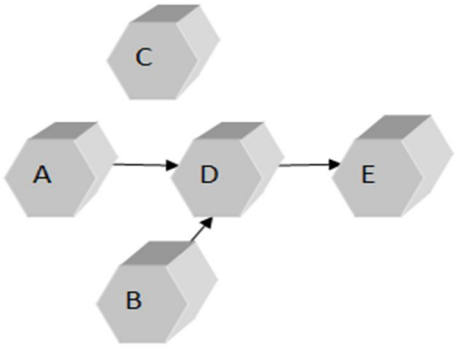
$$P(E \mid D) = P(E \mid D,A) = P(E \mid D,B) = P(E \mid D.B.A) \qquad (۸)$$

یادگیری شبکه بیزی شامل دو قسمت یادگیری ساختار و پارامترها می‌باشد. در بخش یادگیری ساختار، متغیرهای مستقل، وابسته و ارتباط‌های سببی بین آن‌ها تعیین می‌شود. یادگیری پارامترها به معنی تخمین احتمالات شرطی بین هر

www.SID.ir

Archive of SID

دو گره، که با داشتن ساختار شبکه و داده‌های لازم، امکان‌پذیر است. در فرآیند یادگیری پارامترها، ابتدا یک توزیع پیشین یکنواخت به پارامترهای نامعلوم تخصیص داده می‌شود. سپس مقادیر نهایی پارامترهای مجهول (احتمالات) به روش حداکثرسازی درست‌نمایی به‌دست می‌آیند.



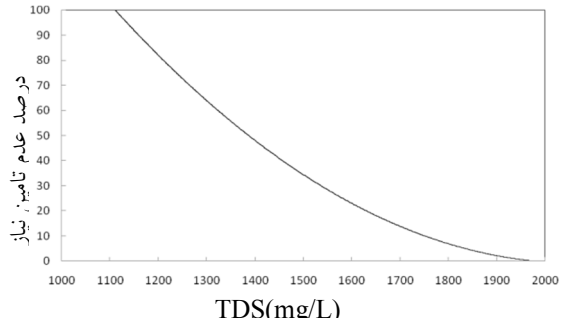
شکل ۱. مثالی از شبکه بیزی

مطالعه موردی

برای بررسی کارایی مدل پیشنهادی در تدوین قوانین بهره‌برداری کمّی و کیفی از مخازن سدها، از اطلاعات مربوط به سد ۱۵ خرداد که یکی از مهمترین سدهای دارای مشکل قابل توجه کیفی در کشور می‌باشد، استفاده شده است. سد پانزده خرداد با ٥٤ متر ارتفاع از بستر رودخانه در مجاورت شهرهای دلیجان و محلات بر رودخانه قمرود احداث گردیده است. هدف از احداث و بهره‌برداری از این سد، تأمین آب کشاورزی بیش از ۸۰۰۰ هکتار اراضی پایین‌دست، ذخیره سیلاب‌ها و آبرسانی به شهر قم می‌باشد. سد مزبور در سال ۱۳۷۳ به بهره‌برداری رسید و پس از گذشت حدود ۲ سال از آغاز بهره‌برداری، مشکلات مربوط به کیفیت آب مخزن آشکار گردید. مناطق پایین دست سد ۱۵ خرداد اراضی تقریباً مسطح و با قابلیت کشت مناسب است و کمبود آب مهمترین عامل محدود کننده توسعه منطقه می‌باشد. با توجه به نیازهای آبی موجود در پایین‌دست سد ۱۵ خرداد و استانداردهای کیفی موجود برای آب مصرفی توابع مطلوبیت ماهانه بخش‌های مختلف تصمیم‌گیرنده یا تأثیرپذیر از سیستم به ترتیب مرتبط با میزان جریان خروجی ماهانه و کیفیت جریان خروجی در نظر گرفته شده است.

نتایج و بحث

Shirangi و همکاران (2008) با استفاده از مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک و کاربرد روش حدی، منحنی تبادل بهینه‌ای بین کیفیت آب تخصیص یافته و درصد عدم تامین نیاز پایین دست سد ۱۵ خرداد ایران و به منظور تعیین سیاست‌های بهره‌برداری ارائه کردند. این منحنی برای افق برنامه‌ریزی ۳۰ ساله مطابق شکل ۲ ترسیم شد.



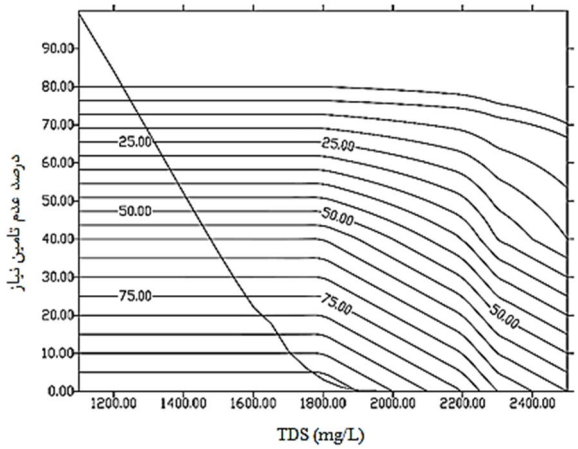
شکل ۲. منحنی تبادل بین کیفیت آب خروجی و درصد عدم تامین نیاز بهینه در طول ۳۰ سال (۱۹۹۷-۱۹٦۸) برای سد ۱۵ خرداد

منحنی بهینه ارائه شده به راحتی می‌تواند برای انتخاب بهترین سیاست‌های مدیریت کیفی مخزن به همراه رفع اختلاف بین بخش‌های مرتبط با تأمین نیاز و کیفیت آب، مورد استفاده قرار گیرد. در مورد سد ۱۵ خرداد، اختلاف بین دو سازمان جهاد کشاورزی و بخش شرب وجود دارد. برای بخش کشاورزی کمیت و تامین نیاز آبی اولویت اصلی محسوب می‌شود در حالیکه برای بخش شرب، کیفیت آب از اهمیت بسزایی برخوردار است. با توجه به اینکه نتیجه تخصیص آب با کیفیت بالاتر و بهتر، کمیت کمتر برای بخش مورد نظر می‌باشد لذا این مساله می‌تواند عامل اساسی اختلاف بین مدیران بخش‌های بهره‌بردار اشاره شده باشد. بطور مثال بخش کشاورزی حاضر به قبول کاهش سهم، صرفا بدلیل بهتر شدن وضعیت کیفی آب نمی‌شود زیرا کمیت بیشتر و تامین نیاز اب اولویت

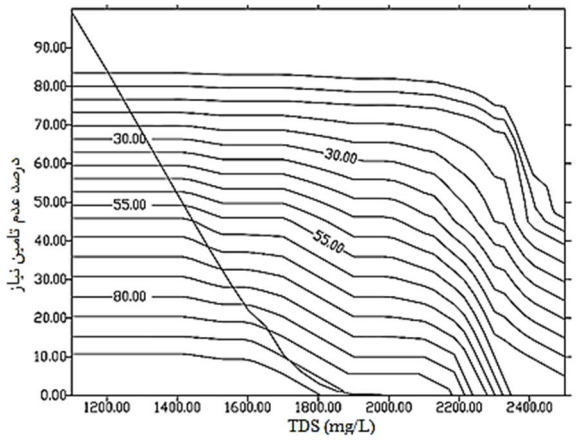
www.SID.ir

Archive of SID

اصلی آن محسوب می‌گردد هر چند کیفیت آب هم تا حدودی برای بخش کشاورزی مهم است و همین مساله می‌تواند عامل و انگیزه‌ای برای حضور در بازی و چانه‌زنی باشد. از سوی دیگر نقطه مقابل این مساله نیز برای بخش شرب صدق می‌کند. *Shirangi* و همکاران (2008) با استفاده از نظریه بازی‌ها و مدل چانه‌زنی دوجانبه *Young* و با در نظر گرفتن مطلوبیت بخش‌های کشاورزی و شرب، نقطه بهینه مطلوب را که مورد تایید بخش‌های مذکور باشد بر روی منحنی تبادل تعیین کردند. استفاده از یک مدل چانه‌زنی دوجانبه به همراه امکان حضور فقط دو گروه تصمیم‌گیرنده در حالیکه در بهره‌برداری از مخزن ذینفعان متعدد با مطلوبیت‌های متفاوت می‌تواند وجود داشته باشد از محدودیت‌های اصلی این تحقیق محسوب می‌شود. در این مقاله و به منظور رفع محدودیت‌های پژوهش‌های قبل، کارایی مدل چانه‌زنی گروهی *Chae and Heidhues* (2004)، که امکان حضور n تصمیم‌گیرنده را داراست بررسی می‌شود که می‌تواند گامی در جهت توسعه مدل‌های قبلی محسوب شود. جهت تضمین صحت و درستی نتایج این مدل n نفره، محاسبات در حالت خاص دو نفره انجام و جواب‌ها با مدل دو جانبه *Young* مقایسه می‌شود. در ادامه با توجه به منحنی تبادل ارائه شده (شکل ۲) و پس از مصاحبه با دو فرد خبره و متخصص از هر یک از بخش‌های کشاورزی و شرب، نقاط هم‌مطلوبیت بر روی منحنی تبادل تعیین و منحنی‌های هم‌مطلوبیت افراد متخصص ترسیم گردید. شکل‌های ۳ و ٤ منحنی هم‌مطلوبیت هر یک از تصمیم‌گیران بخش کشاورزی را نشان می‌دهند. با توجه به این شکل‌ها می‌توان گفت با کاهش مقدار TDS و بهبود وضعیت کیفی آب مقدار درصد عدم تامین نیاز افزایش و به تبع آن مطلوبیت هر دو تصمیم‌گیرنده از بخش کشاورزی کاهش می‌یابد، زیرا کمیت آب اولویت اصلی این بخش محسوب می‌شود. در ادامه و با برخورد منحنی‌های هم‌مطلوبیت تصمیم‌گیران با منحنی تبادل و تعیین مختصات نقاط تلاقی، تابع مطلوبیت هر تصمیم‌گیرنده از بخش کشاورزی قابل تعیین است. شکل‌های ۵ و ٦ منحنی هم‌مطلوبیت هر یک از تصمیم‌گیران بخش شرب را نشان می‌دهند. کیفیت آب اولویت اصلی این بخش محسوب می‌شود. با توجه به این شکل‌ها می‌توان گفت با کاهش مقدار TDS و بهبود وضعیت کیفی آب مطلوبیت هر دو تصمیم‌گیرنده از بخش شرب نیز افزایش می‌یابد. تابع مطلوبیت هر تصمیم‌گیرنده از بخش شرب نیز با برخورد منحنی‌های هم‌مطلوبیت تصمیم‌گیران با منحنی تبادل و تعیین مختصات نقاط تلاقی، قابل تعیین است.



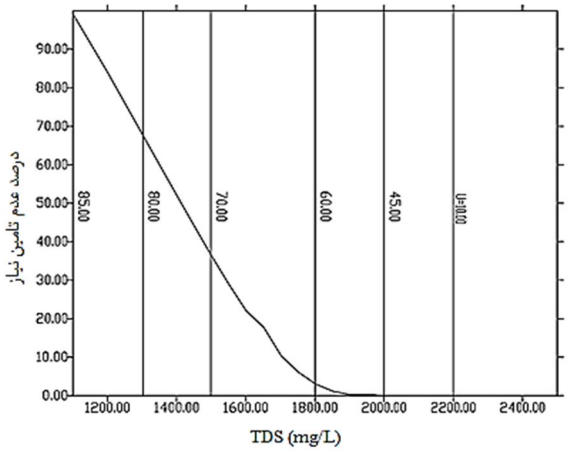
شکل۳. منحنی هم‌مطلوبیت تصمیم‌گیر اول از بخش کشاورزی



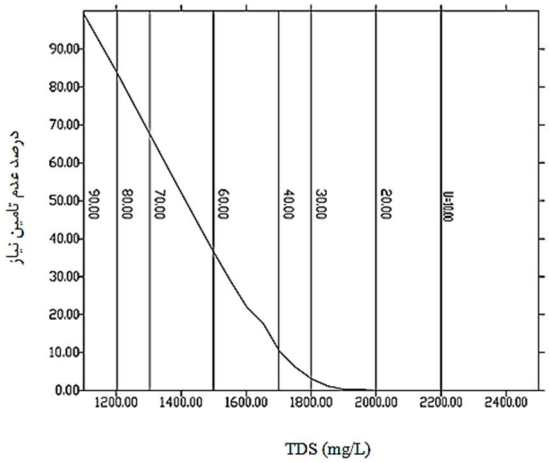
شکل٤. منحنی هم‌مطلوبیت تصمیم‌گیر دوم از بخش کشاورزی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۵. منحنی هم‌مطلوبیت تصمیم‌گیر اول از بخش شرب



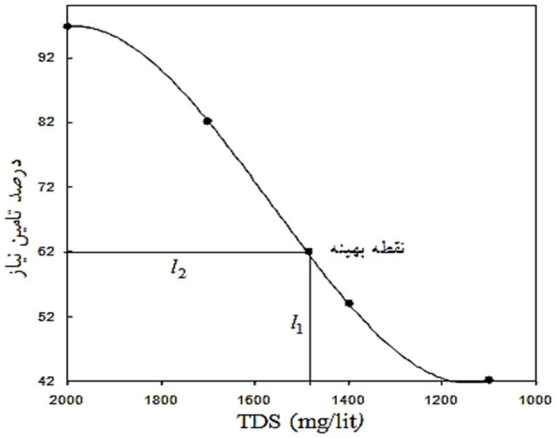
شکل٦. منحنی هم‌مطلوبیت تصمیم‌گیر دوم از بخش شرب

نکته قابل توجه آن است که در بسیاری از مدل‌های حل اختلاف، چانه‌زنی بر سر یک کالای واحد صورت می‌گیرد که در نتیجه مجموع سهم طرفین برابر یک است. ولی در مسأله بهره‌برداری کمی وکیفی از مخزن سد، تابع مطلوبیت بازیکنان دارای واحدهای متفاوتی می‌باشند. به طور مثال کیفیت آب برای بخش شرب بر حسب میلی‌گرم بر لیتر و کمیت آب برای بخش کشاورزی بر حسب مترمکعب است که این دو متغیر هم واحد نیستند و باید بی‌بعد شوند. با توجه به شکل ۷ فرض می‌شود که هرنقطه بر روی منحنی تبادل به ترتیب دارای فواصل l_1 و l_2 تا محور های افقی و عمودی باشد و سهم تصمیم‌گیرنده اول و دوم به ترتیب برابر x_1 و x_2 در نظر گرفته می‌شود بطوریکه مجموع سهم آن‌ها برابر واحد باشد. در اینصورت داریم:

$$x_1 = \frac{l_2}{l_1 + l_2} \qquad (۹)$$

$$x_2 = \frac{l_1}{l_1 + l_2} \qquad (۱۰)$$

$$x_1 + x_2 = 1 \qquad (۱۱)$$

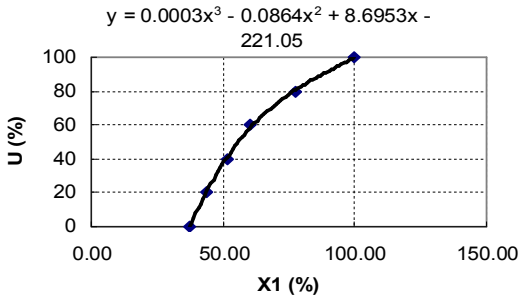


شکل۷. منحنی تبادل بین درصد عدم تامین نیاز و متوسط کیفیت خروجی و تعیین پارامترهای l_1 , l_2

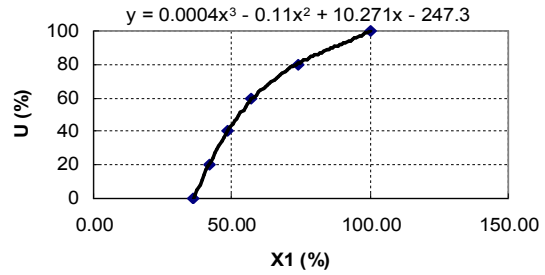
با برخورد منحنی‌های هم‌مطلوبیت تصمیم‌گیران با منحنی تبادل و تعیین مختصات نقاط تلاقی l_1 و l_2، و محاسبه مقادیر x_1 و x_2، مقادیر مطلوبیت بازای مقادیر مختلف پارامتر x_1 و x_2 رسم می‌شود. با برازش یک منحنی مناسب تابع مطلوبیت هر تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شود. شکل‌های ۸ و ۹ منحنی‌های تابع مطلوبیت برای تصمیم‌گیران بخش کشاورزی و شکل‌های ۱۰ و ۱۱ منحنی‌های تابع مطلوبیت برای تصمیم‌گیران بخش شرب را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

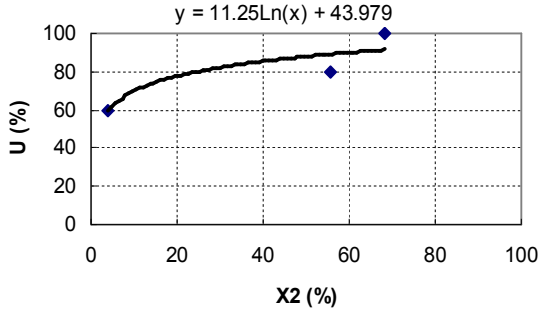
Archive of SID



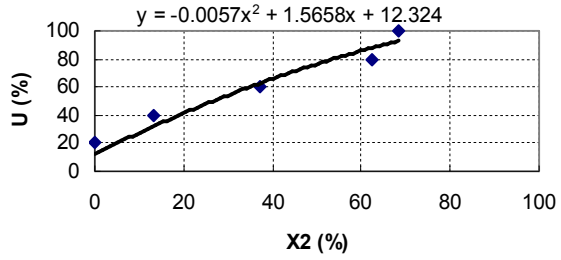
شکل ۸. منحنی تابع مطلوبیت تصمیم گیرنده اول از بخش کشاورزی



شکل ۹. منحنی تابع مطلوبیت تصمیم گیرنده دوم از بخش کشاورزی



شکل ۱۰. منحنی تابع مطلوبیت تصمیم گیرنده اول از بخش شرب



شکل ۱۱. منحنی تابع مطلوبیت تصمیم گیرنده دوم از بخش شرب

در ادامه با در نظر گرفتن توابع مطلوبیت تصمیم‌گیران بخش‌های کشاورزی و شرب و با همگن‌سازی آنها، و با استفاده از معادله ٤، مقدار بیشینه بازای $x_1=69\%$ بدست می‌آید. محاسبات مربوط در جدول ۱ ارائه شده است. پس از تعیین مقدار x_1 و با استفاده از معادله (۷) رابطه بین l_1 , l_2 بصورت $l_2 = 2.226 l_1$ می‌باشد. این نقطه بر روی منحنی تبادل بهینه قابل تعیین است. نقطه مذکور بر روی منحنی تبادل دارای $TDS = 1485\, mg/lit$ است که بازای آن، مقدار عدم تامین نیاز پایین‌دست ۳۸ درصد و مقدار تامین نیاز برابر ٦۲ درصد می‌باشد. به ازای TDS مورد توافق بدست آمده و با اجرای مدل می‌توان سری زمانی برداشت بهینه از دریچه‌های سد را طی یک دوره سی‌ساله بهره‌برداری تعیین کرد. نتیجه حاصل از این مدل با جواب بدست آمده از مدل ارائه شده توسط *Shirangi* و همکاران (2008) یکسان است و این نشان می‌دهد که می‌توان از این مدل برای چانه‌زنی‌های گروهی که تعداد تصمیم‌گیران بیشتری نقش دارند، براحتی استفاده کرد.

در ادامه، برای بررسی کارایی شبکه بیزی در تدوین قوانین و سیاست‌های بهره‌برداری کمّی و کیفی مخزن در خارج از بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۹۷–۱۹٦۸)، شماره ماه، حجم مخزن در ابتدای هر ماه، مقدار دبی ورودی به مخزن و پروفیل قائم غلظت TDS مخزن به عنوان متغیرهای ورودی، و مقدار برداشت از دریچه اول و دوم و همچنین سرریز به عنوان متغیرهای خروجی شبکه بیزی در نظر گرفته شدند. برای ورود اطلاعات به شبکه بیزی و آموزش آن نیاز به سری زمانی ماهانه متغیرهای ورودی و خروجی می‌باشد. برای این منظور مدل ارائه شده توسط Shirangi و همکاران (2008)، برای یک بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۹۷–۱۹٦۸)، و به ازای مقدار TDS بهینه بدست آمده از چانه‌زنی گروهی، اجرا شد و مقادیر بهینه برداشت از دریچه اول و دوم و همچنین سرریز در هر ماه و برای این بازه سی ساله مشخص گردید. سپس سری‌های ماهانه بهینه هر یک از متغیرهای ورودی و خروجی مورد نظر، جهت آموزش شبکه بیزی تعیین شد. شبکه بیزی آموزش داده شده قادر است تابع توزیع احتمال مقدار برداشت از دریچه‌های سد را بدست آورد. البته به طور تصادفی، داده‌های ۵ سال از دوره ۳۰ ساله برنامه‌ریزی، برای

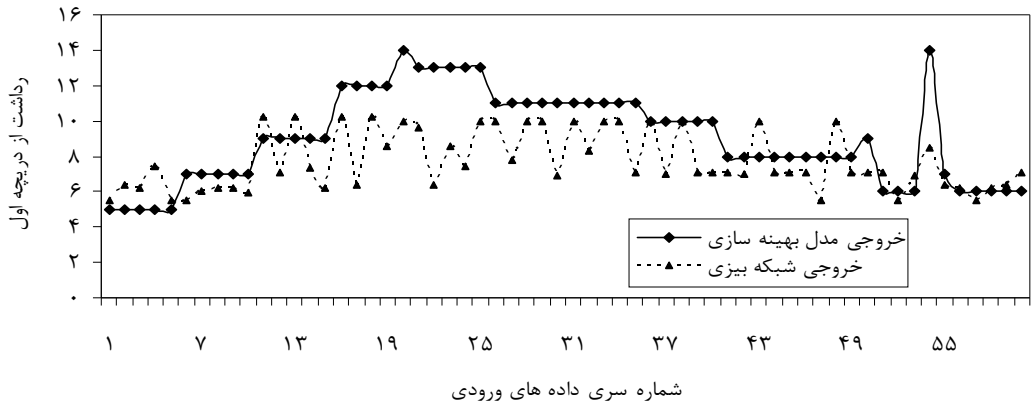
www.SID.ir

Archive of SID

صحت‌سنجی شبکه بیزی مورد استفاده قرار گرفتند. با استفاده از این داده‌ها و به‌ازای مقادیر مختلف ورودی، مقدار برداشت ازهر دریچه و سرریز در هر ماه تعیین شد. شکل ۱۲ مقایسه مقادیر محاسبه شده به روش فوق، با نتایج به‌دست آمده از مدل بهره‌برداری بهینه کمی و کیفی را نشان می‌دهد. نتایج صحت‌سنجی، نشان‌دهنده کارایی مناسب شبکه آموزش داده‌شده برای تدوین سیاست‌های بهره‌برداری می‌باشند. مزیت اصلی قوانین بهره‌برداری پیشنهادی بر مبنای شبکه بیزی آن است که بسیار سریع سیاست‌های بهره‌برداری را به صورت احتمالاتی به‌دست می‌دهد و در مواقعی که مقدار دقیق یک متغیر ورودی، موجود نیست می‌توان تابع توزیع احتمالاتی این متغیر را به عنوان جایگزین مقدار دقیق متغیر، در شبکه بیزی در نظر گرفت و بر این اساس مقادیر خروجی شبکه را به‌صورت احتمالاتی محاسبه کرد.

جدول۱. مقدار تابع مطلوبیت برای هر یک از تصمیم‌گیرندگان بخش کشاورزی و شرب

x_1	u_1	u_2	$U=\sqrt{u_1.u_2}$	x_2	v_1	v_2	$V=\sqrt{v_1.v_2}$	UV
۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۹۵/۸۳	۱۰۰	۹۷/۸۹	۰
۱۰	۰	۰	۰	۹۰	۹۴/۶۴	۱۰۰	۹۷/۲۸	۰
۲۰	۰	۰	۰	۸۰	۹۳/۳۲	۱۰۰	۹۶/۶۰	۰
۶۰	۰	۰	۰	۷۰	۹۱/۸۱	۹۴	۹۲/۹۰	۰
۴۰	۷/۷۲۲	۱۳/۱۴	۱۰/۰۷	۶۰	۹۰/۰۸	۸۵/۷۵	۸۷/۸۹	۸۵۵/۰۵
۵۰	۳۵/۲۱	۴۱/۲۵	۳۸/۱۱	۵۰	۸۸/۰۲	۷۶/۳۶	۸۱/۹۸	۳۱۲۴/۲۵
۶۰	٥٤/٤٢	۵۹/۳۶	۵۶/۸۴	۴۰	۸۵/۵۱	۶۵/۸۳	۷۵/۰۳	۴۲۶۴/۷۰
۶۹	٦٦/۱۲	۶۹/۰۹	۶۷/۵۹	۳۱	۸۲/۶۴	۵۵/۳۸	۶۷/۶۵	۴۵۷۲/۴۶
۷۰	٦٧/١٦	۶۹/۸۷	۶۸/۵۰	۳۰	۸۲/۲۷	۵۴/۱۶	۶۶/۷۵	۴۵۷۲/۳۷
۸۰	۷۵/۲۱	۷۵/۱۸	۷۵/۱۹	۲۰	۷۷/۷۱	۴۱/۳۶	۵۶/۶۹	۴۲۶۲/۵۲
۹۰	۸۰/۳۸	۷۷/۶۹	۷۹/۰۹	۱۰	۶۹/۹۰	۲۷/۴۱	۴۳/۷۷	۳۴۶۱/۷۶
۱۰۰	٨٤/٤٨	۷۹/۸۰	۸۲/۱۰	۰	۰	۱۲/۳۴	۰	۰



شکل ۱۲. نتیجه صحت‌سنجی مدل بیزی برای برداشت از دریچه اول به‌ازای ٦٠ سری داده‌های ورودی

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

با توجه به مطلوبیت متفاوت سازمان‌های ذینفع در بهره‌برداری از مخزن سد و به منظور در نظر گرفتن تعارضات ممکن در بین آن‌ها، برای نخستین بار از مدل رفع اختلاف گروهی با تعداد اعضاء نامحدود *Chae and Heidhues (2004)*، استفاده شد. با کمک این مدل و با توجه به مطلوبیت سازمان‌های مختلف، نقطه بهینه بر روی منحنی تبادل بهینه ارائه شده توسط Shirangi و همکاران (2008)، تعیین گردید و سپس با توجه به TDS مطلوب همه طرف‌های درگیر، مدل برای یک بازه ۳۰ ساله اجرا شد و مقدار برداشت بهینه ماهانه کمی و کیفی که مورد توافق همه می‌باشد مشخص گردید. نتیجه حاصل از این مدل با جواب بدست آمده از مدل ارائه شده توسط Shirangi و همکاران (2008)،یکسان است. برای تدوین قوانین و سیاست‌های بهره‌برداری بهینه و به‌هنگام کمّی – کیفی از مخزن سد، استفاده از مدل شبیه‌سازی هوشمند شبکه‌های بیزی که دارای قابلیت خروجی احتمالاتی می‌باشد پیشنهاد گردید. نتایج حاصل نشان‌دهنده کارایی مناسب مدل‌های ارائه شده در حل‌اختلاف بین سازمان‌های تصمیم‌گیرنده و تعیین سیاست‌های بهینه و به‌هنگام بهره‌برداری کمّی –کیفی از مخزن می‌باشد.

فهرست منابع

لاله زاری، ر.، معاضد، ه.، برومندنسب س. و حقیقی، ع. ۱۳۹٤. توسعه مدل ریاضی و بهینه‌سازی تخصیص آب کشاورزی بر اساس رتبه‌بندی نامغلوب. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۵ (۱): ۱۷–۳۰.

Chaves, P., Tsukatani, T., and. Kojiri, T. 2004. Operation of storage reservoir for water quality by using optimization and artificial intelligence techniques. Journal of Mathematics and Computers in Simulations, 67(4-5), 419-432.

Shirangi, E., Kerachian, R., and Shafai Bajestan, M. 2008. A simplified model for optimal reservoir operation considering the water quality issues: application of the Young conflict resolution theory. Journal of Environmental Monitoring Assessment, 146(1): 77-89.

Kerachian, R., and Karamouz, M. 2006. Optimal reservoir operation considering the water quality issues: a deterministic and stochastic conflict resolution approach. Journal of Water Resources Research, 42(12): 1-17.

Kerachian, R., and Karamouz, M. 2007. A stochastic conflict resolution model for water quality management in reservoir-river systems. Journal of Advances in Water Resources, 30(4): 866-882.

Soltani, F., Kerachian, R., and Shirangi, E. 2010. Developing operating rules for reservoirs considering the water quality issues: application of ANFIS-based surrogate models. Expert Systems with Applications, 37(9): 6639-6645.

Nash, J. F. 1953. The bargaining problem. Econometrica, 18: 155– 162.

Chae, S., Heidhues, P. 2004. A group bargaining solution. Journal of Mathematical Social Sciences, 48(1): 37-53.

www.SID.ir

Archive of SID

ISSN 2251-7480

Developing real time optimal reservoir operation rules using Bayesian networks: application of group conflict resolution model

Ehsan Shirangi[1*], Samira khaleghi[2], Fahimeh Baghaei[3], Abbas Mansoori[4], Ehsan Pourmand[5]

1) Assistant Professor, Civil Dept., Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
* Corresponding author: shirangi@kiau.ac.ir
2) M.Sc. Graduated Department of Civil Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran
3) M.Sc. Graduated Department of Civil Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
4) Assistant Professor, Civil Dept., South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
5) M.Sc. Graduated Department of Civil Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

Received: 02-12-2015 Accepted: 17-02-2016

Abstract

In reservoir operation, there are various decision makers and stakeholders with different and varied utilities. In this paper, investigates the conflicts among decision makers and stakeholders and water quality simulation model and Genetic Algorithm (GA) optimization model combined to find the trade-off curve between qualitative and quantitative issues. The group n person conflict resolution theory is used for selecting the best point on trade-off curve. The Bayesian networks as a novel type of learning model is used to develop real-time operating rules. To evaluate the efficiency of the proposed methodology, it is applied to the 15-Khordad dam located in the central part of Iran. The 15-Khordad dam supplies the water demands of three main sectors: domestic, agriculture and environment. These sectors have conflicting interests about the quantity and quality of the allocated water to their demands the test results show that the both conflict resolution model and Bayesian network model can significantly calculate real-time reservoir operating policies.

Keywords: Bayesian networks; genetic algorithm; group bargaining; reservoir operation

www.SID.ir