کاربرد شبیه حل اختلاف نش در بهره‌برداری چندمنظوره‌ی سامانه‌ی مخازن

الهه فلاح مهدی‌پور*[۱] و امید بزرگ‌حداد[۲]

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۱۶ تاریخ پذیرش:۹۳/۳/۳

چکیده

برقراری سازش و مصالحه بین ذینفعان بهره‌برداری سامانه‌ی مخازن، یکی از مهمترین مسائل مطرح در حوزه‌ی مدیریت منابع آب می‌باشد. انگاره بازیها بطور عام، و شبیه حل اختلاف نش بطور خاص، از جمله روشهایی به شمار می‌روند که با توجه به اختلافات موجود، و با در نظر گرفتن میزان مطلوبیت هر یک از ذینفعان، به جستجوی راه‌حل بهینه در فضای تصمیم می‌پردازند. در این تحقیق، مسأله‌ی بهره‌برداری بهینه از سامانه‌ی سه‌مخزنه با اهداف تولید کارمایه برق‌آبی، و تأمین نیاز پایین‌دست، مد نظر قرار گرفته است. جهت مشخص نمودن تأثیر یکپارچه‌سازی اهداف بهره‌برداری، ابتدا ذینفعان هر مخزن به صورت همزمان، سپس در قالب معرفی توابع هدف مستقل، به صورت جداگانه، در نظر گرفته شده‌اند. نتایج حاکی از افزایش مطلوبیت ذینفعان هر مخزن در حالت معرفی توابع هدف به صورت مجزا بوده است. در گام بعدی، جهت برقراری سازش بین ذینفعان (تولید کارمایه برق‌آبی و تأمین نیاز پایین‌دست)، توابع مطلوبیت در قالب تابع نش استفاده شده است. جواب حاصل از اجرای شبیه فوق، نقطه‌ای از فضای تصمیم است که بیشترین مطلوبیت همزمان را برای هر یک از ذینفعان فراهم می‌سازد. در این حالت، سامانه‌ی مخازن به دو گروه مخازن موازی بالادست، و مخزن پایین‌دست تقسیم شده است که ذینفعان آن در تلاش برای تولید کارمایه برق‌آبی و تأمین نیاز پایین‌دست می‌باشند. نتایج حاکی از آنند که مجموع مطلوبیتهای سامانه در حالت مخازن موازی بالادست و مخزن پایین‌دست برابر با ۵/۸۷۲ واحد خواهد بود که ۰/۴۷۲ درصد بیش از مجموع مطلوبیتهای سامانه با در نظر گرفتن مخازن به صورت مجزا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌برداری چندمنظوره، سامانه‌ی مخازن، تصمیم‌گیری چندهدفه، شبیه نش.

[۱]- دکتری منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی فناوری و کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

[۲]- دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی فنآوری و کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

*- نویسنده مسوول مقاله: Falah@ut.ac.ir

مقدمه

ایران از جمله کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود، چه، از یک سو، میانگین بارندگی سالانه‌ی آن حدود یک سوم متوسط بارندگی خشکیها و از سوی دیگر میزان تبخیر آن سه برابر تبخیر خشکیهای زمین می‌باشد؛ به این ترتیب، بایستی مدیریت و بهره‌برداری از امکانات موجود به بهترین وجه ممکن انجام گیرد. این امر زمانی تحقق می‌یابد که تمامی ذینفعان در یک طرح، اعم از دولتی و خصوصی، تولیدکننده و مصرف‌کننده، سرمایه‌گذار و بهره‌بردار، تا حد ممکن به مطلوبیتهای مورد نظر خود دست یابند. اما گاه اتخاذ تصمیم مناسب با توجه به اهداف مختلف گروههای یاد شده، که در برخی مواقع نیز با یکدیگر در تضاد و اختلاف[1] هستند، دشوار خواهد بود. کای و همکاران (۲۰۰۴) موارد اختلافی را در زمینه مسائل منابع آب طبقه‌بندی کردند. آنها پیچیدگیهای چندقانونی، دامنه‌ی علوم وابسته، ارزش‌گرایی اجتماعی، مقررات سازمانی و ابعاد فرهنگی را از جمله عوامل تأثیرگذار در اختلافات بخشهای مختلف منابع آب دانستند.

انگاره‌ی بازیها[2]، یکی از ابزارهای مناسب برنامه‌ریزی می‌باشد، که ضمن درنظر گرفتن اختلافات موجود میان بخشهای مختلف و مطلوبیتهای آنان، امکان ارائه‌ی راه‌حل بهینه را از میان فضای تصمیم، و یا انتخاب گزینه مناسب را از میان راه‌حلهای موجود فراهم می‌نماید. در حوزه‌ی منابع آب، نمونه‌های مختلفی در خصوص استفاده از این ابزار در برنامه‌ریزی وجود دارند. به عنوان نمونه، یانگ و همکاران (۱۹۸۲)، مزایا و معایب روشهای مختلف موجود را برای تقسیم هزینه در طرحهای تأمین آب، مانند جداسازی هزینه‌ها از سود باقیمانده[3] (SCRB) و روشهای ساده‌ی تخصیص بر اساس نسبتها (سهم هر ذینفع بر اساس نسبت فراسنجهای مختلف) را در یک سامانه‌ی تخصیص آب در سوئد بررسی کردند. تیسدل و هریسون (۱۹۹۲) کاربرد برخی روشهای مختلف بازیهای همکارانه را در تخصیص آب انتقالی در ایالتی در استرالیا مطالعه کرده، و با مقایسه نتایج آنها به بررسی عادلانه‌ترین توزیع آب و درآمد پرداختند. لوآیسیگا (۲۰۰۴) نقش همکاری و عدم همکاری را با شبیه ریاضی، و از طریق روشهای مختلف انگاره بازیها در قالب مسأله‌ی بهره‌برداری مشترک از منابع آب زیرزمینی در امریکا بیان کرد. مهجوری و اردستانی (۲۰۱۰) دو روش را بر مبنای بازی همکارانه و غیرهمکارانه در مسأله‌ی تخصیص آب به‌کار بردند. آنان ضمن تلاش برای افزایش سود اقتصادی ناشی از تخصیصها، به قیودات و محدودیتهای فیزیکی و زیست‌محیطی توجهی خاص نمودند. نتایج حاکی از آن بودند که بازی همکارانه نتایج مناسبتری را جهت دستیابی به سود بیشتر ناشی از تخصیص منابع آب سطحی داشته است. کراچیان و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از انگاره چانه‌زنی رابینستین، که یکی از روشهای مبتنی بر انگاره بازیها با در نظر گرفتن انگاره فازی می‌باشد، منابع آب زیرزمینی را مدیریت کردند. آنان منحنی مجموعه‌ی نقاط جواب را با استفاده از NSGA-II[4] استخراج نموده، و با انگاره چانه‌زنی رابینستین یکی از نقاط آن را با در نظر گرفتن مطلوبیت ذینفعان مختلف استخراج کردند.

شبیه حل اختلاف نش، شبیهی بر اساس انگاره بازیها می‌باشد که با دریافت توابع مطلوبیت هر یک از ذینفعان (اهداف) به ارائه‌ی یک نقطه‌ی سازش طرفهای مختلف می‌پردازد. سالازار و همکاران (۲۰۰۷)، کاربرد انگاره بازیها، و بطور خاص انگاره نش را در حل اختلافات بهره‌برداری از آب زیرزمینی در منطقه‌ای از مکزیک بررسی کردند. در شبیه پیشنهادی آنان دو جنبه‌ی اقتصادی و زیست محیطی مدنظر قرار گرفته، و ذینفعان شامل؛ کشاورزان (خواستار سود بیشتر) و سازمان محیط زیست (خواستار آلودگی کمتر منابع آب زیرزمینی) بودند. کراچیان و کارآموز (۲۰۰۶ و ۲۰۰۷) یک شبیه شبیه‌سازی- بهینه‌سازی را جهت مدیریت کیفی برای استخراج قواعد بهره‌برداری از سامانه‌ی رود- مخزن توسعه دادند. در این شبیه، به سبب وجود ذینفعان مختلف در سامانه، از تابع نش جهت استخراج مقادیر تخصیص آب و تخلیه بار آلاینده استفاده شده است.

[1]- conflict
[2]- Games Theory
[3]- separable costs remaining benefits
[4]- nondominated sorting GA-II

گنجی و همکاران (۲۰۰۷)، برنامه‌ریزی پویای تصادفی را بر اساس انگاره نش توسعه داده و در مسأله بهره‌برداری چندمنظوره از مخزن استفاده کردند. آنان توابع مطلوبیتی را برای هر یک از مصرف‌کنندگان معرفی نموده، و با اعمال آنها در تابع هدف، به نقطه‌ای به عنوان مناسبترین نقطه‌ی تصمیم‌گیری دست یافتند. مریدی و کارآموز (۱۳۸۵) شبیه حل اختلاف مدیریت کیفی و تخصیص آب از رود کرخه را با استفاده از تابع حل اختلاف نش، و با هدف افزایش اطمینان‌پذیری سامانه در تأمین نیاز مصرف‌کنندگان با کیفیت مطلوب مورد بررسی قرار دادند. مریدی و کارآموز (۱۳۸۵) شبیه حل اختلاف مدیریت کیفی و تخصیص آب از رود کرخه را با استفاده از تابع حل اختلاف نش و با هدف افزایش اطمینان‌پذیری سامانه در تأمین نیاز مصرف‌کنندگان با کیفیت مطلوب مورد بررسی قرار دادند. ایشان از NSGA-II به عنوان ابزار بهینه‌سازی استفاده کرده، و در قسمت شبیه‌سازی نیز تغییرات زمانی و مکانی کل جامدات محلول[1] (TDS) را در رود مدنظر قرار داده‌اند؛ در نهایت، با استفاده همزمان ابزار شبیه‌سازی- بهینه‌سازی مقادیر تخصیص بهینه به مصرف‌کنندگان شهری، صنعتی، کشاورزی و زیست محیطی استخراج شده است. شیرنگی و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از الگوریتم چندهدفه بر مبنای NSGA-II مقادیر تخصیص بهینه کمی- کیفی را استخراج کرده، و با استفاده از انگاره یانگ، و در نظر گرفتن توابع مطلوبیت، نقطه‌ای را از مجموعه‌ی نقاط جواب به عنوان پاسخ بهینه برگزیدند. به این منظور، تابع هدف مطرح شده، به صورت تابع هدف ضربی نش برای ماههای مختلف بوده است. کارآموزو همکاران (۲۰۰۹) از شبیه حل اختلاف نش به عنوان ابزاری جهت ارتباط مطلوبیت ذینفعان مختلف در شبیه بهره‌برداری مخزن استفاده کردند. آنان نتایج حاصل از شبیه نش را با شبیه حل اختلاف یانگ (۱۹۹۳)، که بوسیله‌ی شیرنگی و همکاران (۲۰۰۸) توسعه داده شده بود، مقایسه کردند. نتایج حاکی از آن بودند که شبیه نش قابلیت مناسبی را جهت استخراج جواب بهینه بخصوص با در نظر گرفتن شاخص اعتمادپذیری، دارد. آمیت و راماچاندران (۲۰۱۰) به منظور طراحی ساز وکار گسترده‌ای جهت مدیریت کمبود آب از زیربازی کاملی بر مبنای معادله‌ی نش[2] (SPNE) استفاده کردند. بر این اساس، بازده‌ی اقتصادی به عنوان هدف اصلی در نظر گرفته شده و مقادیر تخصیص بر اساس نیازهای مختلف و میزان مطلوبیت ذینفعان به‌دست آمده است. سلطانی و همکاران (۲۰۱۰) ابزاری ترکیبی جهت استخراج سیاست بهره‌برداری بهینه از مخزن با استفاده از الگوریتم ترکیبی NSGA-II با در نظر گرفتن تابع ضربی نش به عنوان تابع هدف توسعه دادند. آنها با استفاده از سامانه‌ی استنتاج فازی شبیه‌سازی کیفی را انجام دادند، که این شبیه با الگوریتم ترکیبی NSGA-II به عنوان بهینه‌ساز مرتبط بوده است. نتایج حاکی از آنند که زمان اجرای برنامه با استفاده از ترکیبی فوق نسبت به سایر روشها با حفظ دقت قابل قبول کاهش یافته است.

با توجه به کاربردهای موفق شبیه حل اختلاف نش، در انواع شبیه‌های کمی، کیفی و کمی- کیفی در منابع آب، اعم از سطحی و زیرزمینی، این شبیه می‌تواند به عنوان ابزار مناسبی در بهره‌برداری بهینه‌ی سامانه‌ی مخازن مورد استفاده قرار گیرد. به این منظور، بایستی ابتدا ذینفعان و اهداف مربوط به آنان برای یک سامانه‌ی تک‌مخزنه مشخص شود. در یک سامانه‌ی تک‌مخزنه، چنانچه تنها اهداف کمی مورد نظر باشد، اهداف مختلف بهره‌برداری نظیر: تولید کارمایه برق‌آبی، تأمین نیاز پایین دست و زیست محیطی وجود دارد. گنجی و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیق خود نیازهای پایین‌دست را به تفکیک شرب، صنعت و کشاورزی و زیست محیطی برای مخزن سد زاینده‌رود در نظر گرفته‌اند، اما تولید کارمایه برق‌آبی نیز یکی از اهداف دیگر بهره‌برداری است که می‌تواند با هدف تأمین نیاز پایین‌دست در تضاد باشد. بر این اساس، در هر دوره، چنانچه هدف تولید کارمایه برق‌آبی باشد، بایستی آب در مخزن ذخیره شود تا بار آبی مناسب را جهت تولید کارمایه برق‌آبی تولید کند. از سوی دیگر، جهت تأمین نیاز پایین‌دست بایستی در هر دوره حجم قابل توجهی آب از مخزن رها شود که با هدف قبلی (تولید کارمایه برق‌آبی) در تضاد است؛ بنابراین، استفاده از شبیه حل اختلاف نش می‌تواند به بهره‌برداری از مخزن

[1]- total dissolved solids

[2]- Subgame Perfect Nash Equilibrium

با اهداف تولید کارمایه برق‌آبی و تأمین نیاز پایین‌دست در جهت کاهش اختلافات موجود میان ذینفعان تولید کارمایه و تأمین نیاز کمک کند.

حال چنانچه بهره‌برداری از سامانه‌ی چندمخزنه با ذینفعان مختلف مد نظر باشد، به دلیل تأثیر نوع بهره‌برداری مخازن بالادست بر عملکرد آبگیرهای پایین‌دست، اختلاف ذینفعان بیشتر نمایان خواهد شد. به بیان دیگر، علاوه بر مسائل مطرح در مورد سامانه‌ی تک‌مخزنه، موارد مربوط به تأمین مطلوبیت اهداف مخازن مختلف نیز به موارد مطرح شده در سامانه‌ی تک‌مخزنه اضافه خواهد شد. در مقاله‌ی حاضر، برای نخستین بار، تابع هدف ضربی نش در حالت قطعی بهره‌برداری سامانه‌ی مخازن جهت حل اختلاف ذینفعان استفاده شده است.

با توجه به موارد ذکر شده، در این تحقیق بهره‌برداری چندمنظوره از یک سامانه‌ی سه‌مخزنه شامل دو مخزن موازی و یک مخزن پی در پی با مخازن موازی مدنظر قرار گرفته است. در این سامانه اهداف بهره‌برداری، تأمین نیاز پایین‌دست هر یک از مخازن و تولید کارمایه برق‌آبی می‌باشد. به این منظور، بهره‌برداری در ابتدا با هدف تأمین مجموع نیاز پایین‌دست هر سه مخزن صورت پذیرفته، و پس از استخراج نتایج، بهره‌برداری با هدف تأمین نیاز هر یک از مخازن به صورت مجزا انجام شده است. در گام بعدی، مقایسه‌ای بین نتایج در نظر گرفتن اهداف به صورت مجزا و همزمان انجام خواهد شد که اثر معرفی اهداف به صورت مجزا و همزمان بررسی خواهد گردید. در ادامه، مقایسه‌ای مشابه جهت بهره‌برداری با هدف تأمین نیاز برق‌آبی صورت می‌پذیرد. همان‌گونه که پیشتر نیز اشاره شد، در سامانه‌ی سه‌مخزنه‌ی فوق، هدف تولید کارمایه برق‌آبی و تأمین نیاز پایین‌دست به صورت همزمان می‌باشد. بنابراین، نوع تعریف اهداف (مجزا و همزمان) با توجه به نتایج مراحل قبل انتخاب شده، توابع مطلوبیت متناظر با هر هدف معرفی گردیده، و با استفاده از تابع ضربی نش، نقطه‌ی مصالحه بین اهداف یا ذینفعان مختلف استخراج خواهد شد.

مواد و روشها

شبیه حل اختلاف نش

یکی از شاخه‌های انگاره بازیها، شبیه حل اختلاف نش می‌باشد که بوسیله‌ی شخصی با همین نام ارائه گردیده است [۱۱]. در یک مسأله که سبب بروز اختلاف میان ذینفعان مختلف شده است، هر یک از ذینفعان در تلاش برای افزایش مطلوبیت مربوط به خود می‌باشد؛ در این حالت، چنانچه کمترین مطلوبیت ممکن برای هر ذینفع مدنظر قرار گیرد، نقطه‌ی عدم توافق، نقطه‌ای است که نمایش‌دهنده کمترین مطلوبیت همزمان برای ذینفعان می‌باشد. در شبیه حل اختلاف نش، هدف یافتن نقطه‌ای از فضای تصمیم است که بیشترین فاصله‌ی همزمان را از نقطه‌ی عدم توافق داشته باشد. به این ترتیب رابطه‌ی ضربی نش برای به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$Max.\, f_1(U_i, d_i) = \prod_{i=1}^{n} (U_i - d_i) \quad (۱)$$

که در آن $n =$ تعداد بازیکنان، ذینفعان و یا توابع هدف، $U_i =$ مقدار مطلوبیت بازیکن یا ذینفع iام و $d_i =$ بعد iام نقطه‌ی عدم توافق می‌باشند. در این حالت، با افزایش مطلوبیت یک بازیکن، مطلوبیت بازیکن مقابل کاهش می‌یابد.

شبیه بهره‌برداری مخزن

بهره‌برداری چندمنظوره مخزن یکی از مسائل مهم در زمینه منابع آب است که با توجه به درگیری سازمانها و بخشهای مختلف در آن می‌تواند با تضاد و تعارض بین اهداف مختلف روبرو باشد. به عنوان مثال، چنانچه بهره‌برداری با اهداف تولید کارمایه برق‌آبی، تأمین نیاز پایین‌دست و مهارکردن سیلاب صورت پذیرد، در یک دوره‌ی بهره‌برداری، جهت تأمین بار آبی کافی برای تأمین کارمایه برق‌آبی، ارجحیت با ذخیره‌سازی آب در مخزن است، حال آن‌که بایستی جهت تأمین نیاز پایین‌دست و مهارکردن سیلاب، آب در طول دوره رهاسازی شود. به این ترتیب، افزایش مطلوبیت تولیدکننده‌ی برق با کاهش مطلوبیت مصرف‌کنندگان پایین‌دست و سازمانهای وابسته به محیط زیست، که در جهت کاهش زیانهای سیلاب تلاش می‌کنند، همراه است. حال چنانچه بهره‌برداری از

سامانه‌ی چندمخزنه مطرح باشد، پیچیدگیهای مسائل مطرح شده بیشتر نمایان می‌گردند، زیرا بهره‌برداری بایستی به صورت همزمان صورت پذیرد، و میزان رهاسازی از مخازن بالادست، در بازده مخازن پایین‌دست نیز تأثیر خواهد داشت.

با توجه به موارد مطرح شده، در تحقیق حاضر، بهره‌برداری بهینه از سامانه‌ی چندمخزنه در دو قسمت ابتدا با اهداف تولید کارمایه برق‌آبی و تأمین نیاز پایین‌دست برای کل سامانه (مخازن) مدنظر قرار گرفته است که توابع هدف، کمینه‌سازی مجموع تفاضل از بیشینه‌ی توان تولیدی (ظرفیت نصب) در هر دوره، و در کلیه‌ی مخازن و کمینه‌سازی مجموع انحرافهای مثبت از نیاز در هر دوره تقسیم بر نیاز بیشینه هر مخزن می‌باشند:

$$Min.Z_1 = \sum_{i=1}^{N}\sum_{t=1}^{T}\left(1-\frac{P_{it}}{PPC_i}\right) \qquad (۲)$$

$$Min.Z_2 = \sum_{i=1}^{N}\sum_{t=1}^{T}\left(\frac{De_{it}-RI_{it}-a_{it}.RP_{it}}{De_{it}}\right) \qquad (۳)$$

$$\forall(RI_{it}+a_{it}.RP_{it}) < De_{it}$$

که در آنها $T =$ تعداد دوره‌های بهره‌برداری، نمایه‌ی t به منظور مشخص نمودن دوره‌ی مورد نظر بوده، و $N =$ تعداد مخازن، و نمایه‌ی i جهت نمایش مخزن مورد نظر می‌باشد. $P_{it} =$ توان تولیدی نیروگاه مخزن iام در دوره‌ی tام (مگاوات)، $PPC_i =$ ظرفیت نصب نیروگاه مخزن iام (مگاوات)، $RI_{it} =$ میزان رهاسازی مخزن iام از خروجی تأمین نیاز در دوره‌ی tام (میلیون مترمکعب)، $a_{it} =$ میزان برداشت از آب خروجی برق‌آبی جهت تأمین نیاز پایین‌دست مخزن iام در دوره tام (درصد)، $RP_{it} =$ میزان رهاسازی مخزن از خروجی برق‌آبی مخزن iام در دوره‌ی tام (میلیون مترمکعب) و $De_{it} =$ میزان نیاز پایین‌دست مخزن مخزن iام در دوره‌ی tام (میلیون مترمکعب) می‌باشند.

در قسمت دوم، بهره‌برداری مخازن با اهداف جداگانه صورت پذیرفته است. به این ترتیب شش تابع هدف به شکل زیر در نظر گرفته شده اند:

$$Min.\ \ Z_{i1} = \sum_{t=1}^{T}\left(1-\frac{P_{it}}{PPC_i}\right) \qquad (۴)$$

$$for \quad i = 1,2,3$$

$$Min.\ \ Z_{i2} = \sum_{t=1}^{T}\left(\frac{De_{it}-RI_{it}-a_{it}.RP_{it}}{De_{it}}\right) \qquad (۵)$$

$$\forall(RI_{it}+a_{it}.RP_{it}) < De_{it} \qquad for \quad i = 1,2,3$$

معادله‌ی حاکم بر حفظ پایایی جرم در سامانه به عنوان یک رابطه‌ی اساسی به صورت زیر است:

$$S_{i(t+1)} = S_{it} + Q_{it} + M_1.(RI_{it}) + \left(M_2\right)_t.(RP_{it}) + M_3.SP_{it} - Loss_{it} \qquad (۶)$$

که $S_{it} =$ حجم ذخیره مخزن iام در دوره tام (میلیون مترمکعب)، $Q_{it} =$ بردار جریان ورودی رود به مخزن iام در دوره‌ی tام (میلیون مترمکعب)، $M_1 =$ ماتریس انتقال جهت تأمین نیاز پایین‌دست، $\left(M_2\right)_t =$ ماتریس انتقال جهت رهاسازی برق‌آبی مخزن iام، $SP_{it} =$ میزان سرریز از مخزن iام در دوره‌ی tام، $M_3 =$ ماتریس انتقال سرریز از مخزن و $Loss_{it} =$ کل تلفات آب موجود مخزن iام در دوره‌ی tام (میلیون مترمکعب) می‌باشند.

واردلاو و شریف (۱۹۹۹) ماتریس انتقال را جهت بهره‌برداری از سامانه‌ی چندمخزنه‌ی برق‌آبی معرفی نمودند. در این ماتریس فقط عناصر صفر، یک و ۱- وجود داشت. به این ترتیب، یا آبی از مخازن بالادست به مخازن پایین‌دست منتقل نمی‌گردد، و یا ۱۰۰ درصد این مقدار به پایین‌دست اختصاص می‌یابد. به این ترتیب، به عنوان مثال، برای یک سامانه‌ی سه مخزنه (دو مخزن موازی در بالادست و یک مخزن پی در پی در پایین‌دست)، ماتریس مذکور به شکل زیر خواهد بود:

$$M_3 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \qquad (۷)$$

در شبیه حاضر، سه خروجی جهت تخلیه آب از مخزن (برق‌آبی، تأمین نیاز پایین‌دست و سرریز) در نظر گرفته شده اند. ماتریس M_3 ساختاری مشابه آنچه واردلاو و شریف(۱۹۹۹) ارائه کردند، داشته، و در واقع ۱۰۰ درصد آب حاصل از سرریز مخازن بالادست به مخازن پایین‌دست انتقال می‌یابد. اما در مورد خروجی

تـأمین نیـاز پـایین‌دسـت، بخشـی از آب حاصـل از ایـن خروجی پـس از اسـتفاده مصـرف‌کننـدگان پـایین‌دسـت مخازن به سامانه بازگشته، و به عنـوان بخشـی از جریـان ورودی مخازن پایین‌دست در نظر گرفته می‌شود. در ایـن ماتریس، ضریب b بخشی از آب است که به پایین‌دسـت اختصاص می‌یابد. در شبیه حاضر، مقدار این فراسنج برای تمامی دوره‌ها ثابت فرض شده است.

$$M_1 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ b & b & -1 \end{bmatrix} \quad (۸)$$

ماتریس M_2 بـا سـاختاری مشـابه آنچـه در ذیـل نمـایش داده شـده اسـت، در میـزان رهاسـازی خروجـی برق‌آبی ضرب خواهد شد:

$$(M_2)_t = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 1-(1-b)\times a_{1t} & 1-(1-b)\times a_{2t} & -1 \end{bmatrix} \quad (۹)$$

در مـــاتریس فرضـــی نمـــایش داده شـــده، از $(1-(1-b)\times a_{it})$ درصـد از آب خروجـی بـرق‌آبـی هریک از مخزن بالادسـت iام در دوره‌ی tام، بـه عنـوان ورودی مخزن پایین‌دست اسـتفاده شـده اسـت. بـه ایـن ترتیب، بین صـفر تـا ۱۰۰ درصـد آب خروجـی بـرق‌آبـی امکان انحراف جهت تأمین نیاز پایین‌دست مخـزن مـورد نظر را دارد. با توجه به تغییـرات مقـدار آب برگشـتی بـه سامانه (پایین‌دسـت) در دوره‌هـای مختلـف، مقـدار ایـن فراسنج به صورت پویا خواهد بود. سایر روابـط حـاکم بـر سامانه به شرح زیر است:

$$P_{it} = f_2\left(\gamma, e_{it}, RP_{it}, PF_i, \overline{H_{it}}, TW_{it}\right) \quad (۱۰)$$

$$\overline{H_{it}} = \left(H_{it} + H_{i(t+1)}\right)/2 \quad (۱۱)$$

$$H_{it} = f_3\left((S_{it})^3\right) \quad (۱۲)$$

$$TW_{it} = f_4\left(\left(R_{it}^{Power}\right)^3\right) \quad (۱۳)$$

$$RPS_{it} = R_{it}^{Power} - RP_{it} \quad (۱۴)$$

$$Loss_{it} = f_4\left(Ev_{it}, \overline{A_{it}}\right) \quad (۱۵)$$

$$\overline{A_{it}} = \left(A_{it} + A_{i(t+1)}\right)/2 \quad (۱۶)$$

$$A_{it} = f_6\left(S_{it}\right) \quad (۱۷)$$

$$S_i^{Min} \le S_{it} \le S_i^{Max} \quad (۱۸)$$

$$RP_i^{Min} \le RP_{it} \le RP_i^{Max} \quad (۱۹)$$

$$RI_i^{Min} \le RI_{it} \le RI_i^{Max} \quad (۲۰)$$

$$P_i^{Min} \le P_{it} \le PPC_i \quad (۲۱)$$

$$S_{i1} = S_{i(T+1)} \quad (۲۲)$$

که در آنها γ = چگالی آب، e_i =بـازده نیروگـاه مخـزن iام، PF_i =ظرفیت نصب نیروگاه مخـزن iام، $\overline{H_{it}}$ = میـانگین بـار آبـی مخـزن iام در دوره‌ی tام (متـر)، TW_{it} = تراز آب پایاب مخزن iام در دوره‌ی tام (متر)، H_{it} = تراز آب مخزن iام در ابتدای دوره‌ی tام (متر)، $H_{i(t+1)}$ = تـراز آب مخـزن iام در انتهـای دوره‌ی tام (متـر)، Ev_{it} = مقـدار تبخیـر از سـطح مخـزن iام در دوره‌ی tام (میلیمتـر)، $\overline{A_{it}}$ = میـانگین سـطح آب در مخزن iام در دوره‌ی tام (کیلومترمربع)، A_{it} = سـطح آب مخـزن iام در ابتـدای دوره‌ی tام (کیلومترمربـع)، $A_{i(t+1)}$ = سـطح آب مخـزن iام در انتهـای دوره‌ی tام (کیلومترمربع)، S_i^{Min} = کمینه حجم ذخیره مخـزن iام (میلیـون مترمکعـب)، S_i^{Max} = بیشـینه حجـم ذخیـره مخزن iام (میلیون مترمکعب)، RP_i^{Min} = کمینه حجم خروجـی بـرق‌آبـی مخـزن iام (میلیـون مترمکعـب)، RP_i^{Max} = بیشینه‌ی حجم خروجی برق‌آبی مخـزن iام (میلیون مترمکعب)، RI_i^{Min} = کمینه‌ی حجم خروجـی تأمین نیاز مخـزن iام (میلیـون مترمکعـب)، RI_i^{Max} = بیشینه‌ی حجم خروجی تأمین نیاز مخـزن iام (میلیـون متر مکعب) و P_i^{Min} = کمینه‌ی تـوان تولیـدی نیروگـاه مخزن iام (مگاوات) می‌باشند.

نتایج و بحث

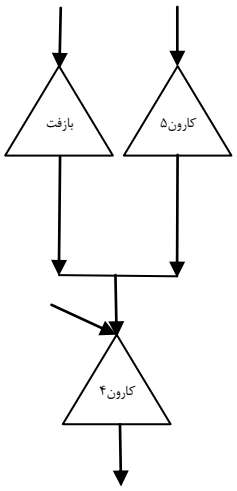
در این بخش، بهره‌برداری از سامانه‌ی سه مخزنه در حوضه‌ی کارون مـد نظـر قـرار گرفتـه اسـت (شـکل ۱). حوضه‌ی آبخیز رود کارون از شمال به حوضه‌هـای آبخیـز گلپایگان و زاینده‌رود، از غرب به حوضه‌های کرخـه و دز، از شرق به زاینده‌رود و کر و از جنوب به حوضه‌های آبخیز رودهای مارون، زهره و جراحی محدود مـی‌شـود. مخـزن کارون پنج بر روی سرشاخه‌ی رود کارون واقع شده است. بخش اعظم حوضه آبخیز رود کارون تا محل سـد کـارون پنج (۸۵ درصد آن) در استان چهار محال و بختیاری قرار گرفته و تنها بخش کـوچکی از جنـوب شـرقی حوضـه‌ی

آبخیز (۱۵ درصد آن) در استان اصفهان واقع گردیده است. مخزن بازفت بر روی رود بازفت واقع شده است. این رود از سرشاخه‌های اصلی رود کارون محسوب می‌گردد که پس از پیوستن رود کوهرنگ، رود کارون را تشکیل می‌دهد. مخزن کارون چهار بر روی رود کارون و قبل از تلاقی آن با رود خرسان واقع شده است. برخی مشخصات مخازن معرفی گردیده، در جدول ۱ گزارش داده شده اند.

جهت مقایسه‌ی مناسب شبیه‌هایی که در روابط (۲) تا (۵) معرفی شده است، میانگین بلند مدت آبدهی برای هر یک از مخازن در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است، میزان آبدهی مخزن کارون چهار به صورت میان حوضه‌ای (بدون در نظر گرفتن آبدهی بالادست) مخازن بازفت و کارون پنج بوده است.

جدول ۱- مشخصات سامانه‌ی سه مخزنه.

مشخصات / نام مخزن	حجم ذخیره‌ی فعال (میلیون متر مکعب)	ظرفیت نصب (مگاوات)	میانگین جریان ورودی (میلیون متر مکعب)
بازفت	۳۰۸	۲۹۰	۲'۰۱۳
کارون‌پنج	۷۹۲	۴۲۰	۲'۴۶۹
کارون‌چهار	۷۴۹	۱'۰۰۰	۶۴۵



شکل ۱- طرح‌واره‌ی سامانه‌ی سه مخزنه

همان‌طور که در بخشهای قبل اشاره شد، مخازن مورد نظر با اهداف تولید کارمایه برق‌آبی و تأمین نیاز پایین‌دست مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. ابتدا، جهت آشنایی بیشتر با شبیه بهره‌برداری در حالت دومنظوره و تضادهای موجود آن، بهره‌برداری به صورت تک‌هدفه صورت می‌گیرد؛ به این ترتیب، ابتدا هدف کمینه‌سازی مجموع تفاضل از ظرفیت نصب در هر دوره و کلیه‌ی مخازن (رابطه (۲)) صورت می‌پذیرد. مقدار بهینه‌ی تابع هدف حاصل از اجرای شبیه فوق صفر بوده است؛ به بیان دیگر، در تمامی دوره‌های بهره‌برداری و کلیه‌ی مخازن، میزان توان تولیدی نیروگاه برابر ظرفیت نصب بوده است. در این حالت، میزان رهاسازی از خروجی تأمین نیاز در برخی دوره‌ها اتفاق افتاده است، که دلیل آن افزایش بده در دوره‌های مذکور بوده است. به این ترتیب پس از آن‌که آب از خروجی برق‌آبی رها شده و بیشینه‌ی توان تولیدی را تأمین نموده است، آب اضافی، که باعث تجاوز آب از بیشینه‌ی حجم ذخیره در دوره مورد نظر یا دوره بعدی بوده، از خروجی تأمین نیاز رها می‌شود. حال چنانچه بهره‌برداری با سه هدف مجزای معرفی شده در رابطه‌ی (۴) صورت گیرد، باز هم توابع هدف Z_{11}، Z_{21} و Z_{31} برابر با صفر خواهند بود. به این ترتیب، در هدف تولید کارمایه برق‌آبی، هدف کل مجموعه با هدف تک‌تک مخازن در یک جهت و همسو می‌باشد.

در گام بعدی، بهره‌برداری با هدف کمینه‌سازی میزان کمبود آب رهاسازی جهت تأمین نیاز در هر دوره و در کلیه‌ی مخازن (رابطه‌ی ۳) انجام می‌شود. مقدار بهینه‌ی تابع هدف حاصل از اجرای شبیه ۵/۵۴۱ واحد بوده است. در این حالت، بهره‌برداری میزان کمبود به ترتیب ۰/۶۴۴، صفر و ۴/۸۹۷ برای مخازن بازفت، کارون‌پنج و چهار بوده است. همچنین، میزان اولویت رهاسازی ابتدا از خروجی تأمین نیاز صورت پذیرفته، و در برخی دوره‌ها نیز، بنا به ضرورت، که تأمین نیاز و یا تنظیم حجم ذخیره مخزن در حدود مجاز بوده است، مقداری رهاسازی از خروجی برق‌آبی وجود دارد.

در مرحله‌ی بعدی، چنانچه بهره‌برداری با سه هدف مجزا معرفی شده در رابطه‌ی (۵) صورت پذیرد، مقادیر توابع هدف Z_{12}، Z_{22} و Z_{32} به ترتیب برابر با ۰/۶۳۸، صفر و ۱/۱۱۴ خواهد بود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در حالت بهره‌برداری با هدف تأمین نیاز هر مخزن به صورت مجزا در مخازن بازفت و کارون چهار، به ترتیب ۰/۹۳۲ و ۷۷/۲۵۱ درصد کاهش در تابع هدف وجود داشته است. این امر، بخصوص در مخزن کارون چهار، که در پایین‌دست مخازن کارون پنج و بازفت قرار گرفته، مشهود است. علت این امر نیز عدم برداشت آب بوسیله‌ی مخازن بالادست در هر دوره می‌باشد؛ به این ترتیب، میزان کمبود مخزن کارون چهار در حالتی که فقط هدف تأمین نیاز کارون چهار باشد کمتر خواهد بود. به بیان دیگر، به علت برداشتن مقداری از آب در پایین‌دست مخازن بازفت و کارون‌پنج، در صورت رهاسازی از خروجی تأمین نیاز، مقدار RI ها در دوره‌های مختلف برای بازفت و کارون چهار کاهش یافته و RP ها بدون استفاده در مصارف تأمین نیاز، و تنها با هدف برق‌آبی، به عنوان ورودی مخزن کارون چهار می‌باشند.

لازم به ذکر است که تمامی شبیه‌های ارائه شده در تحقیق حاضر با استفاده از نرم‌افزار LINGO11، و با در نظر گرفتن شرایط حل بهینه‌ی مطلق[1] در این نرم‌افزار حل شده‌اند. به این دلیل، زمان اجرای برنامه جهت دستیابی به بهینه‌ی مطلق در برخی موارد، که شرایط مسأله به شدت غیرخطی بوده، به عنوان مثال در مواردی‌که تابع هدف تولید کارمایه برق‌آبی را تحت پوشش قرار داده است، طولانی و به بیش از سه ساعت رسیده است، اما در سایر موارد، که تابع هدف تنها تأمین نیاز پایین‌دست بوده، حل مسأله حتی با در نظر گرفتن بهینه‌ی مطلق کمتر از یک دقیقه بوده است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده، تضاد در تأمین نیاز در مخازن بالادست و پایین‌دست کاملا مشهود است. گفتنی است که مورد اشاره شده، تنها در بهره‌برداری با هدف تأمین نیاز بررسی گردیده است، حال آن‌که تضاد مطرح شده، هنگامی‌که هدف تولید کارمایه برق‌آبی همزمان با تأمین نیاز پایین‌دست باشد، بیشتر خواهد بود، چون در هر دوره، جهت تولید کارمایه برق‌آبی، بایستی بار آبی کافی وجود داشته باشد و به این علت بهتر است، آب در مخزن ذخیره شود، حال آن‌که جهت تأمین نیاز پایین‌دست بایستی رهاسازی صورت گیرد؛ بنابراین، جهت بهره‌برداری با توجه به تضادهای موجود در سامانه، لازم است که از یک شبیه حل اختلاف استفاده شود. در تحقیق حاضر، با توجه به اثبات کارایی شبیه نش در ارائه‌ی مناسب نقطه‌ی حل اختلاف، و کاربردهای مختلف آن در حوزه‌های گوناگون منابع آب، از این شبیه جهت بهره‌برداری دو منظوره استفاده شده است.

همان‌طور که قبلا نیز اشاره شد، درانگاره‌ی نش از توابع مطلوبیت جهت معرفی ذینفعان استفاده می‌شود. این امر به یکسان‌سازی بعد (جنس) اهداف مختلف مورد نظر ذینفعان نیز کمک می‌کند. صورت کلی تابع مطلوبیت مورد نظر در تحقیق حاضر به شکل رابطه زیر است:

$$U_i(Z_i)=\frac{1}{c_i}\sqrt{c_i^2-Z_i^2} \qquad (۲۳)$$

که در آن $i=$ نمایه‌ی تابع هدف یا ذینفع، $U_i(Z_i)=$ تابع مطلوبیت ذینفع iام، $c_i=$ مقدار ثابت تابع مطلوبیت ذینفع iام و $Z_i=$ مقدار تابع هدف مربوط به ذینفع iام می‌باشند. به این ترتیب، تمامی مقادیر توابع هدف به مقادیر متناظر صفر و یک نگاشته خواهند شد، و به بیشترین (بدترین) مقدار تابع هدف عدد صفر، و به کمترین (بهترین) مقدار آن عدد یک اختصاص خواهد یافت. با توجه به روابط ارائه شده برای توابع هدف (روابط ۲ تا ۵)، بهترین حالتی‌که برای هدف تولید کارمایه دریک

[1]- Global

دوره رخ می‌دهد، برابری توان تولیدی با ظرفیت نصب نیروگاه است، که در این حالت، مقدار انحراف از ظرفیت نصب صفر خواهد بود. حال چنانچه توان تولیدی برابر کمینه مقدار ممکن (صفر) باشد، مقدار انحراف از ظرفیت نصب برابر با یک خواهد بود؛ بنابراین، بهترین (کمترین) مقدار تابع هدف در روابط (۲) و (۴) برابر با صفر، و بدترین (بیشترین) مقدار آنها به ترتیب برابر با ۳۶ و ۱۲ می‌باشد. اعداد مشابهی برای روابط (۳) و (۵) نیز قابل ارائه اند. به این ترتیب، مقادیر مختلف ثابت c برای توابع هدف مختلف برابر با ۱۲ و ۳۶ خواهند بود. با نگاشت توابع هدف به مقادیر متناظر صفر و یک، نقطه‌ی عدم توافق در همه‌ی ابعاد، مختصاتی برابر با صفر را خواهد داشت. مفهوم فیزیکی نقطه‌ی عدم توافق در بهره‌برداری سامانه‌ی مخازن آن است که در تمامی دوره‌ها هدف مورد نظر، که می‌تواند تولید کارمایه برق‌آبی و تأمین نیاز پایین‌دست باشد، با بدترین شرایط ممکن روبرو بوده است. به بیان دیگر، در هیچ دوره‌ای آب جهت تأمین نیاز پایین‌دست، و یا تولید کارمایه برق‌آبی از هیچ یک از مخازن رها نشده است. در واقع، تمامی ذینفعان خواستار بیشینه‌ی فاصله از نقطه‌ی فوق می‌باشند. جهت بهره‌برداری دومنظوره در جهت حل اختلاف بین ذینفعان سامانه، دو هدف، که در روابط (۲) و (۳) به آنها اشاره شده است، مدنظر قرار گرفته، و توابع مطلوبیت مربوطه که مقدار ضریب ثابت آنها، که ۳۶ بوده، استفاده شده است. به این ترتیب تابع هدف، بیشینه‌سازی ضربی نش به صورت زیر بوده است:

$$Max.\quad f_1(U_1,U_2)=U_1\times U_2 \qquad (۲۴)$$

بر اساس نتایج حاصل از اجرای شبیه با تابع هدف مطرح در رابطه‌ی فوق، مقادیر مطلوبیت U_1 و U_2 به ترتیب برابر با ۰/۹۱۰ و ۰/۹۸۱ می‌باشند. در این حالت، چنانچه مجموع مطلوبیتهای هر یک از اهداف و مخازن، که در واقع شش مطلوبیتند محاسبه شود، این مقدار برابر با ۵/۶۲۸ خواهد بود. مطلوبیتهای اشاره شده به صورت جداگانه برای هر مخزن و هدف، در جدول ۲ گزارش شده اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مطلوبیت مخازن بالادست در کلیه‌ی اهداف، نسبت به مخزن پایین‌دست بیشتر تأمین شده است، که علت آن نیز استفاده‌ی سامانه به صورت همزمان در جهت تولید کارمایه و تأمین نیاز بوده است.

برای رفع این مشکل و جلوگیری از بروز اختلاف بین ذینفعان بالادست و پایین‌دست، در حالت دوم تابع ضربی نش به صورت رابطه‌ی (۲۵) استفاده شده است. در این حالت بهره‌برداری مجموع مطلوبیتهای اهداف و مخازن برابر با ۵/۸۴۵ واحد می‌باشد، که نسبت به حالت قبل ۳/۸۵۲ درصد افزایش یافته است. در این حالت، گرچه مطلوبیتهای مخازن بازفت و کارون‌پنج جهت تأمین نیاز نسبت به حالت قبل کاهش یافته، سایر مطلوبیتها افزایش یافته اند.

$$Max.\quad f_1(U_{11},U_{12},U_{13},U_{21},U_{22},U_{23})= \qquad (۲۵)$$
$$U_{11}\times U_{12}\times U_{13}\times U_{21}\times U_{22}\times U_{23}$$

نتایج حاصل از اجرای شبیه با تابع ضربی نش، در حالتی که ذینفعان در قالب دو و شش مجموعه‌ی تصمیم‌گیری حاضر شده‌اند، نشان از افزایش مطلوبیت مخزن پایین‌دست در حالتی است که این مخزن به صورت مستقل در فرایند تصمیم‌گیری حاضر شده، و مطلوبیتهای مخازن بالادست کاهش یافته است. اما در کل سامانه، مجموع مطلوبیتها افزایش یافته است. جهت استفاده از نتایج اشاره شده، این بار مخازن بالادست، که در واقع اهدافی همسو جهت تولید کارمایه و تأمین نیاز داشته‌اند، در قالب یک مجموعه‌ی تصمیم‌گیری، و مخزن پایین‌دست نیز به صورت مستقل در رابطه‌ی ضربی نش ظاهر خواهند شد. در حالت اخیر، ضریب c موجود در تابع مطلوبیت برای مخازن بالادست ۲۴ خواهد بود. مطلوبیتهای این حالت نیز در جدول ۲ گزارش شده اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مجموع مطلوبیتهای موجود در سامانه در حالت اخیر برابر با ۵/۸۷۲ واحد خواهد بود، که به ترتیب ۴/۳۴۲ و ۰/۴۷۲ درصد بیش از حالت اول و دوم بهره‌برداری با استفاده از شبیه نش می‌باشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، بهره‌برداری با اهداف تولید کارمایه برق‌آبی و تأمین نیاز در سامانه‌ی مخازنی که دارای مجموعه‌ی مخازن پی درپی و موازی می‌باشند، از یک سو با کاهش ذینفعان در جهت همسوسازی منافع آنان، نظیر آنچه در حالت سوم بهره‌برداری در تحقیق حاضر در نظر گرفته شد، و با

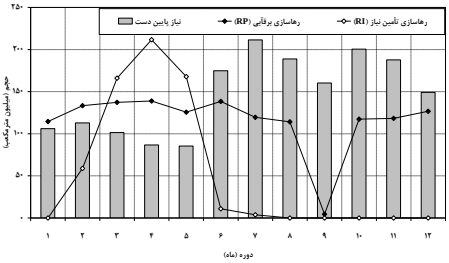
تفکیک و درگیر نمودن مستقیم بخش‌هایی از سامانه که اهداف آنها با سایر قسمتها در تضاد است، نظیر آنچه برای مخزن پایین‌دست در این تحقیق در نظر گرفته شد، به بازده کلی طرح، که همان مجموع مطلوبیت‌های موجود در سامانه می‌باشد، کمک خواهد کرد. به این ترتیب، نتایج حاصل از اجرای شبیه در بهره‌برداری در حالت سوم، به عنوان نقطه‌ی بهینه ارائه خواهد شد. شکل‌های ۲ و ۳ به ترتیب میزان رهاسازی و حجم ذخیره‌ی مخزن را در دوره‌های مختلف در نقطه‌ی مصالحه نمایش می‌دهند.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، در برخی دوره‌ها، بخصوص در مخزن کارون چهار، آبی از خروجی برق‌آبی رها نشده، اما در دوره‌های بعدی، با توجه به ذخیره‌سازی آب در دوره‌ی قبل، میزان رهاسازی حجم قابل توجهی است که سبب تولید کارمایه به اندازه‌ی ظرفیت نصب شده است.

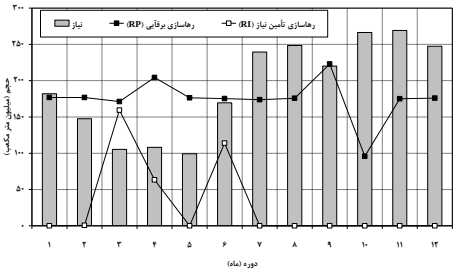
با توجه به نتایج به‌دست آمده، چنانچه در دوره‌ای مقدار رهاسازی خروجی تأمین نیاز اندک بوده، و رهاسازی از خروجی برق‌آبی غیر صفر باشد، از این مقدار حجم رهاسازی جهت تأمین نیاز استفاده شده، و در نتیجه، مقدار ضریب a یک، و یا مقداری نزدیک به آن خواهد بود. اما در دوره‌هایی که مقدار رهاسازی از خروجی برق‌آبی وجود نداشته، و یا مقدار آن کم بوده، مقدار ضریب a نیز به صفر نزدیک می‌باشد. هم‌چنین، در برخی دوره‌ها رهاسازی از هر دو خروجی به علت تنظیم حجم ذخیره‌ی مخزن در حدود مجاز وجود داشته، ولی تنها از آب خروجی تأمین نیاز جهت تأمین نیاز پایین‌دست استفاده شده، و در نتیجه برداشتی از مقدار رهاسازی برق‌آبی جهت تأمین وجود ندارد.

جدول۲- مقادیر مطلوبیت‌های مختلف مخازن در حالات مختلف بهره‌برداری.

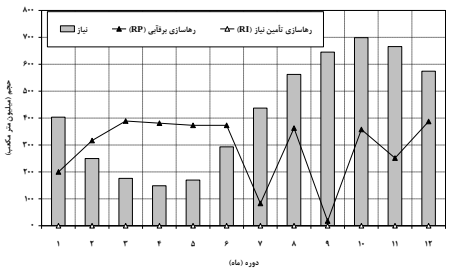
مطلوبیت / حالت بهره‌برداری	تأمین نیاز پایین‌دست			تولید کارمایه برق‌آبی		
	بازفت	کارون‌پنج	کارون‌چهار	بازفت	کارون‌پنج	کارون‌چهار
۱	۰/۹۹۴	۰/۹۹۲	۰/۹۴۲	۰/۹۲۵	۰/۹۵۶	۰/۸۲۰
۲	۰/۹۸۲	۰/۹۶۷	۰/۹۴۶	۰/۹۸۹	۰/۹۸۹	۰/۹۷۳
۳	۰/۹۵۷	۰/۹۸۸	۰/۹۶۰	۰/۹۹۵	۰/۹۹۹	۰/۹۷۳



(الف)

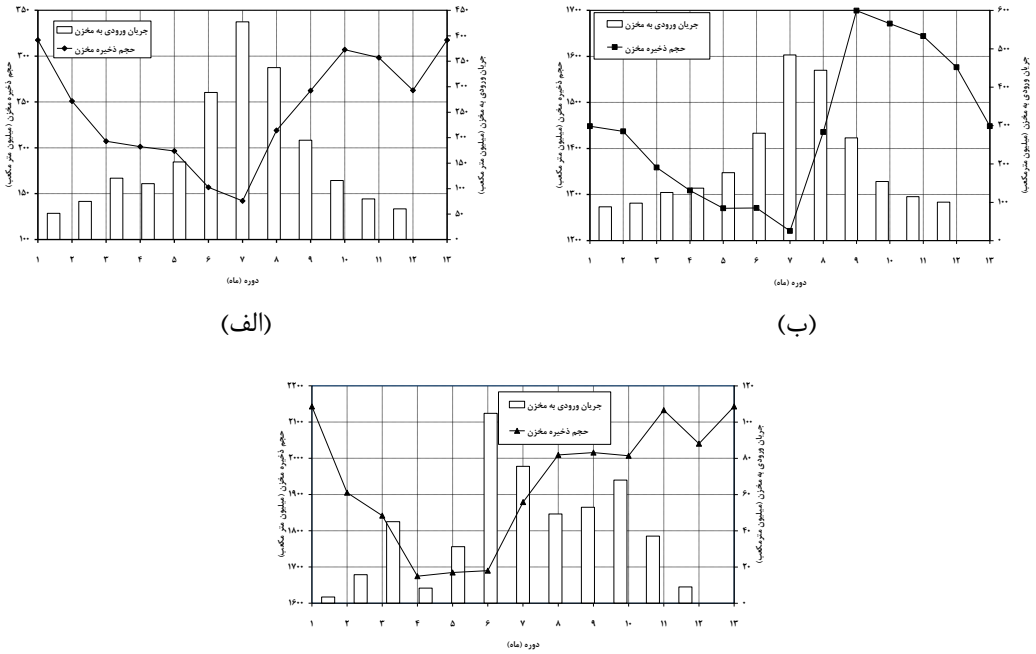


(ب)



(ج)

شکل ۲- نمایش حجم رهاسازی و نیاز ماهانه در نقطه‌ی مصالحه مخزن (الف): بازفت، (ب): کارون پنج، (ج): کارون چهار.



شکل ۳- نمایش حجم ذخیره و آورد ماهانه در نقطه‌ی مصالحه مخزن (الف): بازفت، (ب): کارون پنج، (ج): کارون چهار.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

اختلافات موجود در سامانه‌های منابع آب، چگونگی حل و ارائه نقطه‌ی تصمیم‌گیری، که بیشترین منافع ذینفعان را در بر داشته باشد، یکی از مسائل مهم حوزه‌ی منابع آب است. سامانه‌ی مخازن نیز با مجموعه‌ای از اهداف بهره‌برداری و گروههای ذینفع، نمونه‌ای از موارد مطرح شده می‌باشد. آنچه مسلم است، چگونگی استفاده از آب بوسیله‌ی آب‌بران مختلف، با توجه به نحوه‌ی عملکرد مجموعه تعیین می‌گردد. روشهای حل اختلاف، مجموعه‌ای از ابزارهای تصمیم‌گیری می‌باشند که با توجه به شرایط مسأله، همچنین توابع مطلوبیت ذینفعان در آن، به ارائه راه‌حل می‌پردازند. در این تحقیق، مسأله‌ی بهره‌برداری دومنظوره از سامانه‌ی سه‌مخزنه با اهداف تولید کارمایه برق‌آبی و تأمین نیاز پایین‌دست مد نظر قرار گرفته است. به این منظور، در مرحله‌ی اول به شناسایی تضادهای موجود در سامانه پرداخته شده، و به این ترتیب، تضادهای موجود در اهداف متفاوت، همچنین مخازن مختلف، بخصوص مخازن بالادست و پایین‌دست، مشخص شده اند. در مرحله‌ی دوم، با توجه به نتایج مرحله‌ی اول و با استفاده از یک روش حل اختلاف (شبیه نش)، بهره‌برداری در حالت دومنظوره مد نظر قرار گرفته و تعاریف مختلفی جهت همسوسازی مطلوبیتهای مخازن و اهداف مختلف، ارائه شده اند. درنهایت، با توجه به نتایج به‌دست آمده، شبیه پیشنهادی با نگرش یکسان‌سازی مطلوبیتهای ذینفعانی که منافع آنها همسو بوده، و تفکیک ذینفعانی که مطلوبیتهای آنها با گروه قبل درتضاد است، در جهت افزایش مجموع مطلوبیتهای موجود در سامانه ارائه گردید، به نحوی‌که تا ۴/۳۴۲ درصد افزایش در بازده کلی طرح به وجود آمده است.

در تحقیق حاضر، بهره‌وری برای یک دوره‌ی ۱۲ ماهه، بر اساس میانگین آورد ورودی به مخزن صورت گرفته است. چنانچه بهره‌برداری برای یک دوره‌ی بلند مدت مدنظر باشد، نرم‌افزار بهینه‌سازی (LINGO11) جهت دستیابی به بهینه‌ی مطلق قطعا با محدودیت زمانی، بخصوص در اهداف تولید کارمایه برق‌آبی روبرو خواهد بود. به این منظور، استفاده از انواع الگوریتم‌های ترکیبی،[1] که به استخراج جواب بهینه در مدت زمان کوتاهتر کمک می‌کند، توصیه می‌شود.

[1]- Hybrid

منابع

۱. مریدی، ع.، و م. کارآموز. ۱۳۸۵. مدل حل اختلاف مدیریت کیفی و تخصیص از آب رودخانه کرخه. مجله آب و فاضلاب اصفهان. ۱۷(۶۰): ۵۵-۶۴.

2. Amit, R. K., and P. Ramachandran. 2010. A fair contract for management water scarcity. Water Resour. Manag. 24: 1195-1209
3. Cai, X., L. Lasdon, and A.L. Michelsen. 2004. Group decision making in water resources planning using multiple objective analysis. J. Water Res. Pl. ASCE. 130: 4-14.
4. Ganji, A., D. Khalili, and M. Karamouz. 2007. Development of stochastic dynamic Nash game model for reservoir operation. I. The symmetric stochastic model with perfect information. Adv. Water Resour. 30: 528-542.
5. Karamouz, M., A. Ahmadi, and A. Moridi. 2009. Probabilistic reservoir operation using Bayesian stochastic model and support vector machine. Adv. Water Resour. 32: 1588-1600.
6. Kerachian, R., M. Fallahnia, M. R. Bazargan-Lari, A. Mansoori, and H. Sedghi. 2010. A fuzzy game theoretic approach for groundwater resources management: Application of Rubinstein Bargaining Theory. Resour. Conserv. Recy. 54:673-682.
7. Kerachian, R., and M. Karamouz. 2006. Optimal reservoir operation considering the water quality issues: a stochastic conflict resolution approach. Water Resour. Res. 42:1-17.
8. Kerachian, R., and M. Karamouz. 2007. A stochastic conflict resolution model for water quality management in reservoir-river systems. Adv. Water Resour. 30: 866-882.
9. Loaciagia, H. 2004. Analytical game theoretic approach to groundwater extraction. J. Hydrol. 297: 22-33.
10. Mahjouri, N., and M. Ardestani. 2010. Application of cooperative and non-cooperative games in large-scale water quantity and quality management: a case study. Environ. Monit. Assess. 172:157-169.
11. Nash, J.F. 1953. Two person cooperative games. Economia. 18: 155-162.
12. Salazar, R., F. Szidarovszky, E. Coppola, and A. Rojano. 2007. Application of game theory for a groundwater conflict in Mexico. J. Environ. Manage. 84: 560-571.
13. Shirangi, E., R. Kerachian, and M. Bajestan. 2008. A simplified model for reservoir operation considering the water quality issues: application of the Young conflict resolution theory. Environ. Assess. Monit. 146:77-89.
14. Soltani, F., R. Kerachian, and E. Shirangi. 2010. Developing operating rules for reservoirs considering the water quality issues: application of ANFIS-based surrogate models. Expert. Syst. Appl. 37:6639-6645.
15. Tisdell, J. G., and S.R. Harrison. 1992. Estimating an optimal distribution of water entitlement. Water Resour. Res. 28:3111-3117.
16. Young, H. P., N. Okada, and T. Hashimoto. 1982. Cost allocation in water resources development. Water Resour. Res. 18:463-475.
17. Young, H.P. 1993. An evolutionary model of bargaining. J. Econ. Theory. 59: 145–168.
18. Wardlaw, R., and M. Sharif. 1999. Evaluation of genetic algorithms for optimal reservoir system operation. J. Water Res. Pl. ASCE. 125: 25-33.