نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۸، ص. ۷۰۸-۶۹۵

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 5, Nov.-Dec. 2019, p. 695-708

تدوین مدل تلفیقی تخصیص بهینه آب با رویکرد بازی‌های همکارانه
مطالعه موردی: سد شهید رجایی

مهسا نوری[۱]- علیرضا عمادی[۲*]- رامین فضل‌اولی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۰۴

چکیده

رشد جمعیت و محدودیت منابع آب، موجب اهمیت بهره‌برداری بهینه از منابع موجود شده است. نگرانی اصلی در زمینه مدیریت منابع آب، تخصیص عادلانه است. بنابراین، تخصیص بهینه منابع با درنظرداشتن مطلوبیت ذی‌نفعان و محدودیت‌های فیزیکی مسئله امری ضروری است. در این پژوهش، رویکرد نظریه بازی‌ها برای تخصیص آب از سد شهید رجایی با توجه به تقسیم عادلانه سود میان ذی‌نفعان مورد استفاده قرار گرفته است. ابتدا مقدار آب قابل‌دسترس با سیاست بهره‌برداری استاندارد تعیین و سپس مدل بهینه‌سازی تخصیص آب با رعایت عدالت بدون توجه به سود اقتصادی تدوین گردید. این مدل برای تعیین سهم آب شرکت‌کنندگان در ائتلاف‌ها اجرا شد. سپس، ائتلاف‌های ممکن به‌منظور افزایش سود کلی سیستم با روش شاپلی تشکیل و سود حاصل از هر ائتلاف محاسبه گردید. درنهایت، به‌منظور تخصیص مجدد سود به بازیکنان جهت ترغیب آن‌ها به شرکت در ائتلاف کل از رابطه ارزش شاپلی استفاده شد. تلفیق مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک با نظریه بازی‌های همکارانه به روش شاپلی کریسپ از نوآوری‌های این پژوهش می باشد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که استفاده از روش پیشنهادی سود ذی‌نفعان را افزایش می‌دهد به‌طوری‌که با تشکیل ائتلاف کل، سود ذی‌نفعان بین ۶ تا ۱۶ درصد و سود کلی سیستم ۱۰ درصد افزایش یافته است. این میزان افزایش سود با مدل تلفیقی پیشنهادی بدون نیاز به هیچ‌گونه هزینه اضافی و تنها با تغییر در مدیریت بهره‌برداری قابل اجرا خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: تخصیص آب، سد شهید رجایی، مدل بهینه‌سازی، مدیریت منابع آب، نظریه بازی‌ها

مقدمه

متغیر بودن رژیم‌های بارندگی و جریان رودخانه در سال‌های مختلف و نیز پیچیدگی در پیش‌بینی منابع آب حوضه آبریز در آینده، اتخاذ یک راهکار مناسب جهت مدیریت بهینه بهره‌برداری از مخزن سدها را با روش‌های علمی، ضروری می‌سازد. از طرفی با توجه به تغییر اقلیم جهانی، وقوع سیلاب یا خشکسالی همه ساله خسارات شدیدی را در نقاط مختلف کره زمین به‌خصوص در نواحی روستایی کشورهای در حال توسعه برجای می‌گذارد. آمار و ارقام نیز نشان از رشد فزاینده در تعداد خسارات ناشی از بلایای جوی و اقلیمی در کشورهای دنیا دارد. بنابراین با آشکار شدن هرچه بیشتر این چشم‌انداز منفی برای آینده منابع آب، تحقیقات پیرامون ابداع و به‌کارگیری روش‌های نوین در بهره‌برداری بهینه از منابع آب، روند پرشتاب‌تری را نسبت به گذشته به‌خود گرفته است و سیاست‌گزاران بخش آب را بیش از پیش نیازمند به نتایج آن نموده است، چرا که لازم است تا سیاست‌های تخصیص آب با جامع‌نگری کافی و با توجه به معیارهایی مانند عدالت، کارایی و پایداری تدوین شوند. در میان راهکارهای ارائه شده، نظریه بازی‌ها یکی از روش‌هایی است که توسط برخی محققان برای بهبود مدیریت منابع آب، مورد استفاده قرار گرفته است. نظریه بازی‌ها ابزاری ضروری برای مطالعه ریاضی رقابت و همکاری است که چگونگی واکنش‌های استراتژیک میان بازیکنان را متناظر با سود آن‌ها نشان می‌دهد. نظریه‌ی بازی‌ها، یک مجموعه ابزار تحلیلی است، که تلاش می‌کند تا رفتار ریاضی حاکم بر یک موقعیت استراتژیک را در وضعیت‌های تعاملی و به هم پیوسته مدل‌سازی کند. هدف نهایی نظریه بازی‌ها، یافتن راهبرد بهینه برای بازیکنان است (۱۴). بازی‌ها شامل مجموعه‌ای از بازیکنان، مجموعه‌ای از استراتژی‌های در دسترس آن‌ها و پیامد بازیکنان برای هر ترکیبی از استراتژی‌ها (نتایج احتمالی بازی) می‌باشد. مسائل نظریه بازی‌ها معمولاً مسائل تصمیم‌گیری‌های چند معیاره است. برای حل چنین مسائلی با روش‌های بهینه‌سازی متعارف، معمولا مسئله در نهایت به یک مسئله تصمیم‌گیری تک‌هدفه برای کل سیستم تبدیل شده و فرض می‌شود تصمیم‌گیرندگان به‌منظور بهینه‌سازی تابع هدف بدون اولویت دادن به اهداف خود عمل می‌کنند. در حالیکه، در نظریه

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری سازه‌های آبی و دانشیاران گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*- نویسنده مسئول: (Email: emadia355@yahoo.com
DOI: 10.22067/jsw.v33i5.82654

www.SID.ir

Archive of SID

بازی‌ها، هر تصمیم‌گیرنده، بازی را برای بهینه‌سازی هدف خود بازی می‌کند و تصمیم‌گیری‌های دیگر بازیکنان بر هدف او تأثیر گذاشته و تصمیم او نیز بر پیامدها و تصمیمات دیگران تأثیر می‌گذارد (۱۳). بازی‌ها به دو دسته همکارانه و غیرهمکارانه تقسیم می‌شوند. روش های حل بازی‌های همکارانه شامل هسته، نوکلئوس، مقدار شاپلی و کرنل می‌باشد که از میان آن‌ها مقدار شاپلی، ابزاری قدرتمند برای درنظر گرفتن سهم مشارکت هریک از بازیکنان در ائتلاف‌ها می‌باشد. ون نیومن و موگنستن (۲۴) مفهوم اساسی بازی‌های همکارانه و ویژگی‌های آن‌ها را معرفی کردند. پس از آن محققان زیادی برای توسعه روش‌های مختلف حل بازی‌های همکارانه تلاش کردند. مفهوم مقدار شاپلی، به‌عنوان بازی همکارانه، توسط شاپلی ارائه شد. این بازی می‌تواند به‌عنوان ابزاری مفید جهت نشان دادن سود یا هزینه برای شرکت‌کنندگان در ائتلاف درنظر گرفته شود (۲۰). ائتلاف فازی اولین بار توسط اوبین (۴) معرفی شد. در تعریف او، ائتلاف فازی یک بردار n بعدی است که مؤلفه‌های آن، درجه عضویت بازیکنان در ائتلاف است. سوزوکی و ناکایاما (۲۲) به تخصیص منصفانه هزینه توسعه منابع آبی به بخش‌های کشاورزی و شرب در ژاپن براساس مفهوم رفتار همکارانه پرداختند. در پژوهش آن‌ها دو اراضی کشاورزی و نیز سه شهر که نیاز آب شرب آن‌ها از یک سد تأمین می‌شود مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آن‌ها نشان داد که تخصیص بهینه منابع آبی بین بخش‌های کشاورزی و شرب زمانی رخ می‌دهد که ائتلاف کل بین آن‌ها تشکیل گردد. استرافین و هیانی (۲۱) به ارائه روشی مناسب برای تقسیم هزینه‌های مشترک سیستم سدها بین کاربرانشان پرداختند. روش پیشنهاد شده برای حل این مشکل، روش نوکلئوس بر اساس مفهوم نظریه بازی‌ها و رفتار همکارانه بین بازیکنان می‌باشد. یانگ و همکاران (۲۶) به مقایسه کارایی بازی‌های همکارانه مختلف برای تخصیص هزینه‌های تأمین آب در پروژه‌های آبی بزرگ پرداختند. آن‌ها از مفاهیمی نظیر مقدار شاپلی، کوچکترین هسته، کوچکترین هسته ضعیف و نسبت کوچکترین هسته برای تخصیص هزینه‌های پروژه آبی در سوئد و مقایسه نتایج این بازی‌ها با در نظر گرفتن ضوابط عقلانیت و انصاف استفاده کردند. آن‌ها دریافتند که به منظور استفاده صحیح از روش های تئوری بازی‌ها، باید اطلاعات زیادی به‌همراه جزئیات به مدل داده شود. در نهایت تخصیص هزینه های تأمین آب را به تناسب جمعیت انجام دادند. تیسدل و هریسن (۲۳) به توزیع عادلانه درآمد حاصل از تخصیص آب بین کشاورزان درکوئینزلند استرالیا پرداختند. آن‌ها از سه روش نوکلئوس، شاپلی و رائولسین به‌منظور دست‌یابی به هدفشان استفاده کردند و در نهایت اعلام نمودند اگرچه تعداد بازیکنان کمی را در بازی شرکت داده‌اند ولی تخصیص دومرحله‌ای با استفاده از این روش‌ها، می‌تواند ابزار مفید و قدرتمندی در ارزیابی‌های سیاسی باشد. لجانو و داوس (۱۱) در جنوب کالیفرنیا به توسعه راه‌حل‌هایی برای مشخص نمودن بهترین حالات تخصیص بر اساس رعایت عدالت با استفاده از مفهوم جدید حل به نام نوکلئوس بی‌بعد پرداختند. آن‌ها ادعا کردند که استفاده از روش نوکلئوس بی‌بعد باعث تشکیل ائتلاف کل در بین بازیکنان می‌شود. لیپایی و هینی (۱۲) به بررسی تخصیص کارآمد و عادلانه هزینه‌های تأثیرگذار بر سیستم‌های آب شهری بین مناطق با توجه به دسته‌بندی‌های مختلف مشترکین و انواع تقاضا بر مبنای بازی‌های همکارانه پرداختند. فیسولد و کاسول (۶) به ارائه راهکارهایی جهت سیاست‌گزاری مفید برای مذاکرات در زمینه آب بین ایالات متحده و مکزیک به روش همکارانه پرداختند. آن‌ها مدلی را برای یک بازی چانه‌زنی متوالی با استفاده از کمک‌های مالی مشترک توسعه دادند. نتایج مدل، نقش کمک‌های فنی را در تأثیرگذاری بر نتیجه معاملات نشان داد. کیلگور و دینار (۱۰) به بررسی تخصیص آب رودخانه گنگ به کشورهای واقع در حوضه رودخانه بر اساس تضمین برنامه زمان-بندی کارآمد با استفاده از بازی همکارانه پرداختند. آن‌ها مسئله چانه-زنی همراه با جبران خسارت در تخصیص کارآمد را نیز در ارائه برنامه زمان‌بندی لحاظ نمودند. در نهایت، امکان برنامه‌ریزی عملی برای تخصیص آب را که با توجه به حجم جریان پیش‌بینی شده متفاوت بود، مورد بررسی قرار دادند و نموداری بین میزان رفاه کل و میزان جریان عبوری سالانه از رودخانه گنگ ارائه نمودند. ادلند و کوپلین (۱) براساس قوانین توزیع سود و اصول تئوری بازی‌ها، تصمیم‌گیری در تخصیص آب را به‌عنوان یک بازی همکارانه در اراضی آبی حوضه رود کات در جنوب آفریقا بررسی کرده‌اند. راکوئل و همکاران (۱۷) در مکزیک به ایجاد یک راه‌حل قابل قبول اجتماعی برای یک مشکل چندهدفه و تعادل‌بخشی میان منافع اقتصادی کشاورزی و اثرات منفی آن بر محیط‌زیست با استفاده از بازی‌های همکارانه پرداختند. آن‌ها از تئوری بازی‌ها برای یافتن راه‌حل بهینه بین دو هدف متضاد (کاهش اثرات منفی بر محیط‌زیست و افزایش سود اقتصادی) در میان ۱۲ سناریو به‌منظور برداشت آب زیرزمینی استفاده نمودند. آن‌ها دریافتند تصمیم بهینه، به وزن نسبی که به اهداف متناقض اختصاص داده می‌شود، بستگی دارد. شیخ‌محمدی و مدنی (۱۹) به شناسایی نتیجه محتمل درگیری برای میزان تخصیص از دریای خزر و پیشنهاد برخی از تخصیص‌های احتمالی با استفاده از رویه‌های چانه‌زنی و برخی از قوانین شناخته شده انتخاب اجتماعی پرداختند. آن‌ها خروجی‌های هر یک از دو روش استفاده شده را مقایسه نمودند و مزایا و معایب هر روش را بیان کردند. وانگ و همکاران (۲۵) روشی دو مرحله‌ای برای تخصیص آب با استفاده از بازی‌های همکارانه ارائه کردند. در گام اول، تخصیص اولیه آب به بازیکنان بر اساس قیود فیزیکی و منطقی صورت گرفت. سپس در گام دوم، از مدل نظریه بازی‌ها برای تخصیص مجدد آب به‌منظور رسیدن به شرایط بهینه استفاده کردند. مطالعه موردی آن‌ها بر روی حوضه رودخانه ساسکاچوان جنوبی نشان داد که روش پیشنهادی آنان می‌تواند برای مشکلات پیچیده در دنیای واقعی استفاده شود تا قیود عدالت رعایت گردد و می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری آگاهانه استفاده شود. نیک سخن و همکاران (۱۶) تجارت مجوز تخلیه‌ی بار آلودگی را با کاربرد تئوری بازی‌ها مورد بررسی قرار داده و از روش‌های شاپلی و نوکلئوس برای

www.SID.ir

Archive of SID

توزیع مجدد هزینه‌های تصفیه بهره بردند. آن‌ها متذکر شدند که با افزودن یک دستگاه تخلیه‌کننده به سیستم رودخانه و یا تغییر بارهای آلودگی و همچنین تغییر عملکرد تصفیه‌خانه‌ها، باید در الگوی تجارت مجوز تخلیه تجدید نظر شود. صادق و همکاران (۱۸) مسأله انتقال آب بین حوضه‌ای را با استفاده از روش‌های بازی‌های همکارانه به شکل فازی و غیرفازی مدل کرده‌اند. مهرپرور و همکاران (۱۵) به حل مناقشات در زمینه تخصیص منابع آب با استفاده از نظریه بازی‌ها پرداختند. آن‌ها از روش‌های شاپلی، نوکلئوس و نش برای تخصیص بهینه آب در حوضه زاینده‌رود استفاده نمودند و نتایج روش‌های مختلف نظریه بازی‌ها را با شاخص‌های پایداری مورد ارزیابی قرار دادند. عمادی و همکاران (۵) به ارزیابی مدل آبدهی و سیاست بهره برداری استاندارد در تهیه منحنی فرمان بهره‌برداری از مخزن سد پرداختند. هدف آن‌ها تعیین سیاست بهره‌برداری مناسب با توجه به حداقل رساندن مجموع مربعات کمبود آب بود. هانگ و همکاران (۸) به بررسی مدل بازی همکارانه فازی در تخصیص بار آلودگی پرداختند. آن‌ها از روش ارزش شاپلی فازی به‌منظور تخصیص سود حاصل از تشکیل ائتلاف استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که تشکیل ائتلاف فازی در افزایش سود اقتصادی سیستم تاثیر به‌سزایی دارد. هان و همکاران (۷) به بهینه‌سازی تخصیص منابع آب بر اساس نظریه بازی‌های چندعامله پرداختند و یک مدل بهینه‌سازی به‌منظور ارتباط بین عامل‌ها در حوضه رودخانه مورد مطالعه ارائه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل ارائه شده کارایی بیشتری نسبت به مدل‌های بهینه‌سازی رایج دارد. اسدی و همکاران (۳) به تعیین برداشت بهینه منابع آب زیرزمینی با استفاده از نظریه بازی‌ها پرداختند. آنان براساس اطلاعات میانگین برداشت آب زیرزمینی در سال‌های مختلف شش سناریو در نظر گرفتند و برای تخمین منافع اقتصادی و اثرات محیط-زیستی به‌ترتیب از درآمد خالص کشاورزان و میزان استخراج منابع آب زیرزمینی استفاده کردند. سپس میزان بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی را به روش راه‌حل نامتقارن نش تعیین نمودند. کاشفی‌نژاد و همکاران (۹) به تخصیص بهینه منابع آبی با استفاده از الگوریتم ژنتیک با رتبه‌بندی نامغلوب پرداختند. آن‌ها جهت کمینه‌سازی خطای برآورد کاهش محصول در شرایط اعمال کم‌آبیاری در شبکه آبیاری حمیدیه، یک مدل بهینه‌سازی تک هدفه با کمک الگوریتم ژنتیک ارائه دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که با وجود تغییرات ناچیز در میزان نسبت درآمد به هزینه، میزان کارایی مصرف آب نسبی حداقل ۹ درصد افزایش یافته و کاهش حداقل۲۶ درصدی منابع آب را به‌دنبال دارد. مرور مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که تخصیص بهینه و منصفانه منابع آب مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. همچنین به‌منظور دستیابی به این امر، به‌دلیل متفاوت بودن شرایط فیزیکی و هیدرولوژیکی و هواشناسی منابع آبی مختلف، می‌بایست مدل و روشی متناسب با شرایط مورد نظر انتخاب گردد. در این پژوهش، از سیاست بهره‌برداری استاندارد[1] (SOP) و مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک و نظریه بازی‌های همکارانه کریسپ[2] که از فرم عمومی تابع شاپلی پیروی می‌کند به‌منظور بهینه‌سازی تخصیص آب در حوضه آبریز تجن استفاده شده است. هدف اصلی این پژوهش، تخصیص بهینه آب از طریق افزایش سود کلی سیستم با تشکیل ائتلاف و نیز افزایش سود هر یک از آب‌برانی که در ائتلاف شرکت کرده‌اند می‌باشد.

مواد و روش‌ها

نظریه بازی‌ها شبیه‌سازی واقع‌گرایانه‌ای از رفتار ذی‌نفعان را فراهم می‌کند و می‌تواند به ارائه برخی برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گزاری هایی که با سایر روش‌های مهندسی مرسوم ممکن نیست، کمک کند. یکی دیگر از مزیت‌های نظریه بازی‌ها نسبت به روش‌های بهینه‌سازی مرسوم، توانایی آن برای شبیه‌سازی جنبه‌های مختلف مناقشه، ترکیب ویژگی‌های مختلف مسئله و پیش‌بینی رفتارهای احتمالی بازیکنان است. چنانچه بازیکنان با اتحادی یکپارچه به‌منظور برقراری شرایط مطلوب برای کل سیستم تصمیم‌گیری کنند، این بازی به‌صورت همکارانه مطرح می‌شود که مهمترین روش‌های حل آن شامل روش‌های شاپلی، هسته، نوکلئوس و روش ورشکستگی می‌باشد. در صورتی‌که هر بازیکن یا تصمیم‌گیرنده به‌طور کاملاً یک طرفه و با در نظر گرفتن اهداف و شرایط مطلوب خویش تصمیم‌گیری کند، بازی به‌صورت غیرهمکارانه مطرح می‌شود. در این پژوهش، برای بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد شهید رجایی به‌منظور تأمین نیازهای پایین‌دست اعم از نیاز شرب، صنعت، زیست‌محیطی و کشاورزی، از نظریه بازی‌های همکارانه به روش شاپلی کریسپ استفاده شده است. مراحل روش انجام پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده است.

شبیه‌سازی مخزن براساس سیاست بهره‌برداری استاندارد

سیاست بهره‌برداری استاندارد یکی از روش‌های بهره‌برداری از مخزن است. در این روش، از رابطه پیوستگی بین مقادیر ورودی به مخزن، مقادیر خروجی از آن و میزان ذخیره در مخزن در دوره‌های زمانی مشخص استفاده می‌شود و تأمین نیاز پایین‌دست متناسب با مقدار آب در دسترس خواهد بود. به‌عبارت دیگر، در این روش صرف نظر از شرایط گذشته و آینده، در هر دوره زمانی نیاز موجود بر اساس تمام آب در دسترس تأمین می‌شود. در صورتی که مخزن خالی از آب باشد، رهاسازی صورت نمی‌گیرد، علاوه بر آن در صورت زیاد بودن آب در مخزن نسبت به نیاز در یک دوره، حجم رهاسازی برابر با مقدار نیاز

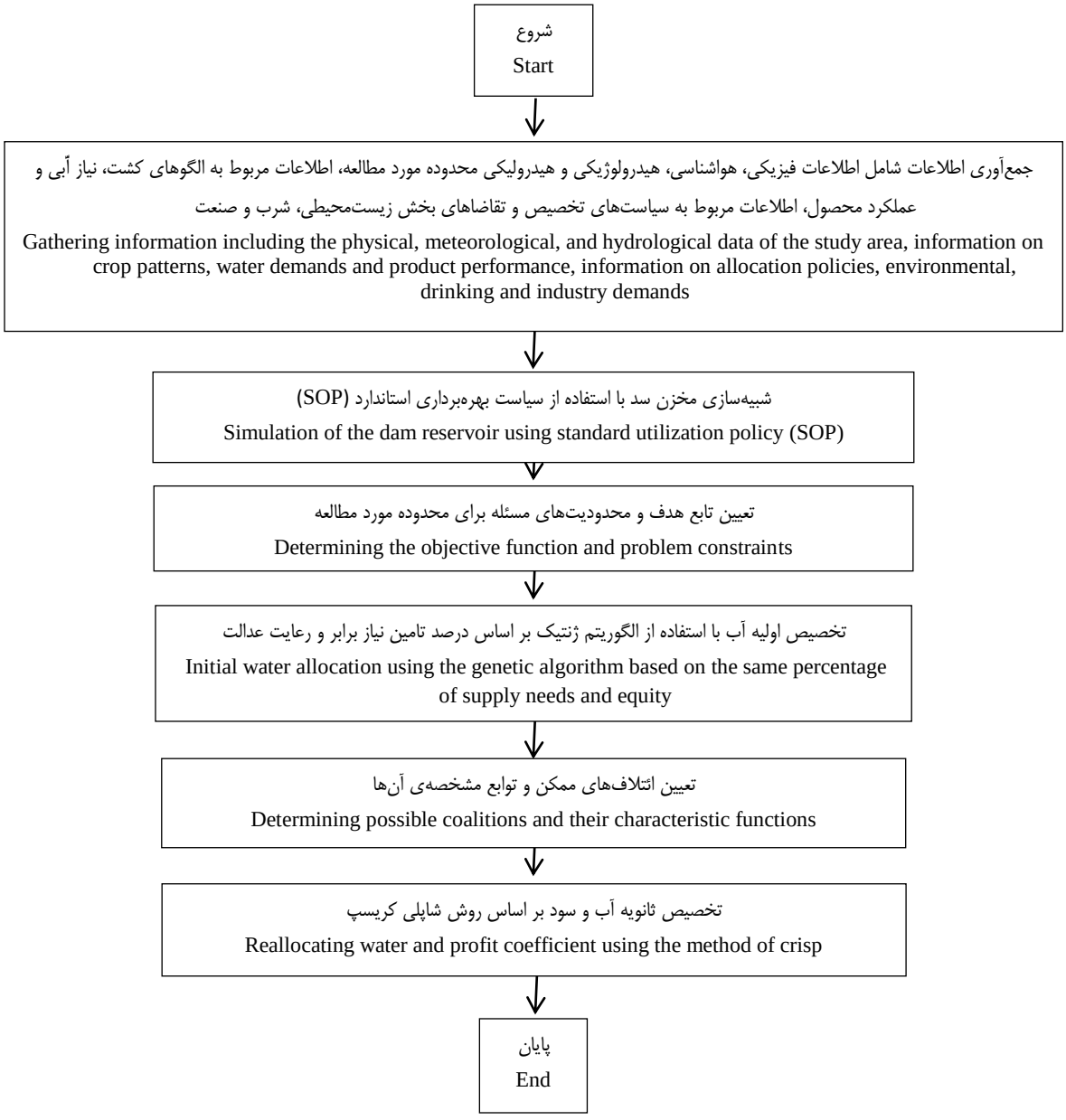
1- Standard Operation Policy
2- Crisp Cooperative Games

www.SID.ir

Archive of SID

آن دوره در نظر گرفته می‌شود و مازاد آن، در مخزن ذخیره خواهد شد. در این سیاست زمانی که مخزن توانایی تأمین نیاز را به‌طور کامل نداشته باشد، درصدی از آن تأمین می‌شود. در این پژوهش، برنامه شبیه‌سازی مخزن بر اساس روش SOP با کدنویسی در نرم‌افزار MATLAB تهیه شد. در این برنامه اطلاعات مربوط به مخزن سد از جمله مقادیر دبی ماهانه ورودی به مخزن به صورت سری زمانی، توزیع ماهانه ارتفاع تبخیر و بارش، تعداد ماه‌های بهره‌برداری، حجم حداقل و حداکثر مخازن، توزیع ماهانه نیازها و حجم حداکثر نیاز وارد برنامه می‌شود.

با برقراری رابطه بین سطح و حجم مخزن در هر دوره از روی منحنی سطح – حجم – ارتفاع مخزن، حجم تبخیر و بارش در هر دوره به‌دست می‌آید. سپس با فرض حجم اولیه مخزن و رعایت قیود و محدودیت‌های ذکر شده در بخش نحوه شبیه‌سازی مخزن، حجم ذخیره مخزن، حجم سرریز و میزان برداشت آب در هر دوره محاسبه می‌شود. در نهایت از این مدل شبیه‌سازی برای محاسبه تابع هدف تعیین شده برای بهره‌برداری از مخزن در ترکیب با مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک استفاده می‌گردد. روابط ۱ تا ۴ قیود و محدودیت‌های مسئله را نشان می‌دهند.



شکل ۱- مراحل روش انجام پژوهش

Figure 1- Flowchart of the proposed methodology

www.SID.ir

Archive of SID

$$S_{min} \le S_1 \le S_{max} \quad (۱)$$

$$Sp_t = 0\,,\ Re_t = De_t \quad (۲)$$

$$\text{if } S_{t+1} > S_{max} \quad \begin{cases} Sp_t = S_{t+1} - S_{max} \\ S_{t+1} = S_{max} \end{cases} \quad (۳)$$

$$\text{if } S_{t+1} < S_{min} \quad Def_t = S_{min} - S_{t+1}$$

$$\text{if } Def_t < De_t \quad \rightarrow \begin{cases} Re_t = De_t - Def_t \\ S_{t+1} = S_{min} \end{cases} \quad (۴)$$

$$\text{if } Def_t > De_t \quad \rightarrow \begin{cases} Re_t = Q_t \\ S_{t+1} = S_{min} \end{cases}$$

که در آن: ، S_1 به عنوان حجم اولیه، S_{min} حداقل حجم مخزن معادل حجم مرده سد، S_{max} حداکثر حجم مخزن معادل حجم نرمال سد، Sp_t حجم سرریز در گام t، Re_t حجم آزاد شده از مخزن در گام t، De_t مقدار حجم مورد نیاز در گام t ، S_{t+1} حجم مخزن در گام t+1، و Def_t مقدار کمبود در گام t است.

تخصیص اولیه با استفاده از مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک

در گام اول، مقدار آب قابل دسترس بر اساس ضوابط منصفانه بین بازیکنان تخصیص داده می‌شود. هدف از تخصیص اولیه، تامین نیازها بدون توجه به اهداف اقتصادی و با رعایت عدالت می‌باشد. به عبارت دیگر، در این مدل با استفاده از قیود لحاظ شده، سعی می‌شود تخصیص آب به همه ذی‌نفعان به نسبت یکسان از نیاز آن‌ها صورت گیرد. در صورتی که حجم آب قابل دسترس در مخزن سد، نیاز آبی همه ذی‌نفعان را به طور کامل تأمین نکند، با استفاده از قیود رعایت عدالت، درصد تأمین نیاز آن‌ها به یک میزان خواهد بود. متغیرهای تصمیم مدل، مقادیر ماهانه آب تخصیصی به آب‌بران در یک دوره زمانی بلند مدت می‌باشند. در این پژوهش، سه مصرف‌کننده اصلی در بخش کشاورزی در یک دوره زمانی ۱۸ ساله درنظر گرفته شده است. در این مدل، اولویت با تأمین نیازهای شرب، صنعت و زیست محیطی می‌باشد که سهم آن‌ها جداگانه تأمین می‌شود و نیازهای کشاورزی به‌نسبت مقادیر هر یک از نیازها تأمین می‌شوند. در این بخش، از مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک (GA) استفاده می‌شود و گام زمانی انجام محاسبات بهینه‌سازی ماهانه می‌باشد. تابع هدف و قیود در روابط ۵ تا ۸ نشان داده شده است.

$$Min\ Z = \sum_{s=1}^{3}\sum_{y=1}^{18}\sum_{m=1}^{12}(d_{s,m,y} - r_{s,m,y})^2 \quad (۵)$$

$$r_{s,m,y} \le d_{s,m,y} \quad (۶)$$

$$\frac{r_{1,m,y}}{d_{1,m,y}} = \frac{r_{2,m,y}}{d_{2,m,y}} = \frac{r_{3,m,y}}{d_{3,m,y}} \quad (۷)$$

$$\sum_{s=1}^{3} r_{s,m,y} = R_{m,y} \quad (۸)$$

در روابط فوق، d، مجموع مقادیر نیازهای کشاورزی در ماه m از سال y در دوره ۱۸ ساله می‌باشد. r، مقدار خروجی از سد در ماه m می‌باشد که به کشاورزی اختصاص می‌یابد. Rm,y آب آزاد شده از مخزن سد در ماه m از سال y می‌باشد.

تخصیص ثانویه آب و سود با استفاده از بازی‌های همکارانه

در بازی‌های همکارانه، ممکن است بازیکنان به‌منظور برخورداری از منافع دو یا چندجانبه، در بازی باهم رقابت نکنند، بلکه به‌منظور دستیابی به منافع بیشتر بر سر انتخاب برخی استراتژی‌ها توافق کنند. این توافق ممکن است بین تمام بازیکنان یا چند بازیکن با هم باشد که اصطلاحا به آن ائتلاف می‌گویند. در این صورت بازیکن موقعی تن به همکاری می‌دهد که پیامد حاصل از توافق و همکاری حداقل برابر پیامد مستقل و رقابتی عمل کردن در بازی باشد تا انگیزه برای همکاری و پیوستن به ائتلاف در بازیکن بوجود آید (۲). در این پژوهش برای حداکثرسازی سود کل از بازی همکارانه کریسپ استفاده می‌شود، به‌گونه‌ای که طرف‌های درگیر یا بازیکنان به‌طور دو به دو، چندتایی یا همگی با هم در یک ائتلاف شرکت می‌کنند تا درنهایت بهینه‌ترین حالت برای سهم آب و سود دریافتی هر یک از آن‌ها با توجه به شرکت یا عدم شرکت در ائتلاف‌های مختلف به‌دست آید. در روش کریسپ بازیکنان با تمام سهم آب تخصیص‌یافته به خود (که از مرحله قبل تعیین شده است)، در ائتلاف شرکت می‌کنند. مراحل تعیین توابع مشخصه در روش کریسپ به منظور تخصیص مجدد آب به بازیکنان شرکت‌کننده در هر ائتلاف در شکل ۲ نشان داده شده است.

در شکل ۲، s ائتلاف کریسپ، x(s) مجموع مقدار آب آورده شده در ائتلاف کریسپ، w(i) تخصیص اولیه آب بازیکن i، D نیاز آبی بازیکن i، r ضریب سود بازیکن i به‌ازای هر متر مکعب آب به‌طوری که r2>r3>r1، n(s) تابع مشخصه یا ارزش ائتلاف کریسپ می‌باشد. در گام بعد، به هر یک از اعضای ائتلاف پیامدی تخصیص داده می‌شود که به آن ارزش شاپلی[1] یا قدرت آن بازیکن در ائتلاف می‌گویند. در این روش، سود عایدی هر بازیکن برابر متوسط وزنی همکاری او در تمامی ائتلاف‌های ممکن است. طبق این تعریف، ارزش شاپلی عبارتست از :

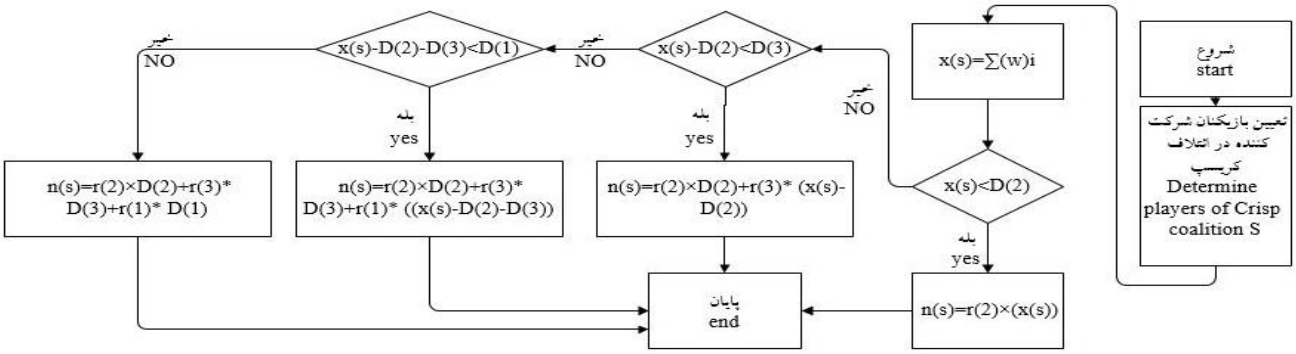
$$x_i = \sum_{i \in S \subseteq N} \frac{(|S|-1)!\,(n-|S|)!}{n!}[v(S) - v(S-\{i\})] \quad (۹)$$

که در آن، x_i ارزش شاپلی یا سود بازیکن i، n تعداد کل بازیکنان، $|S|$ تعداد اعضای ائتلاف S و $v(S-\{i\})$ سود حاصل از یک ائتلاف S بدون شرکت یک بازیکن خاص i می‌باشد. در این

1- Shapley Value

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- مراحل تعیین توابع مشخصه در روش کریسپ

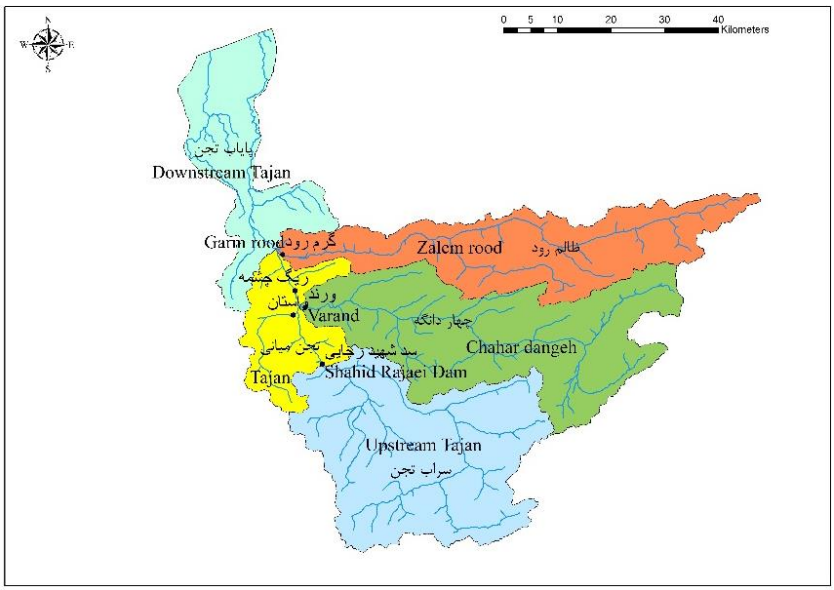
Figure 2- Flowchart of calculating the characteristic function for crisp Shapley Game

مرحله، تخصیص ثانویه مقدار آب و سود به‌منظور رعایت عدالت صورت می‌گیرد. بدین منظور، میزان پرداخت‌هایی که در هر ماه باید بین بازیکنان شرکت‌کننده در هر ائتلاف رد و بدل شود، تعیین می‌گردد. به‌عنوان مثال، اگر برای شرکت‌کننده‌ای در ائتلاف سهمی در نظر گرفته شد، در صورتی‌که این مقدار کمتر از سهم تعیین شده برای این بازیکن در تخصیص اولیه بود، شرکت‌کنندگان دیگر در ائتلاف موظفند به این بازیکن، سهم پولی معادل آب از دست‌رفته آن بازیکن، پرداخت کنند.

مطالعه موردی

مطالعه موردی در این پژوهش، سد شهید رجایی در ۴۵ کیلومتری جنوب غربی ساری واقع در حوضه تجن می‌باشد. کاربری اصلی این سد تأمین آب کشاورزی زمین‌های اطراف و تأمین آب آشامیدنی است. در شکل ۳ حوضه آبریز تجن نشان داده شده است.

برای تخصیص آب به نیازهای مختلف اعم از شرب، زیست‌محیطی، کشاورزی و صنعت، لازم است همه مصرف‌کنندگان آب در پایین دست و نیازهای هریک از آن‌ها مشخص شوند. نیازهای شرب و زیست‌محیطی نیازهایی هستند که حتما باید تأمین شوند. بخش‌های کشاورزی مربوط به کشت شالی بیشترین مصرف آب را در بین طرف‌های درگیر دارد. پس از شالی بیشترین سطح زیرکشت به مرکبات اختصاص دارد. بنابراین، غیر از نیاز شرب و زیست‌محیطی و صنعت که تأمین نیاز آبی آن‌ها در همه ماه‌های سال به‌طور کامل ضروری است، بازیکنان اصلی، شالی، مرکبات و سایر محصولات می‌باشند. شکل ۴ نیاز کشاورزی مربوط به این بخش‌ها را نشان می‌دهد. در این پژوهش، نیاز آبی محصولات با استفاده از نرم افزار Cropwat محاسبه شده است. جدول ۱ مقادیر نیازهایی که باید از مخزن سد شهید رجایی تأمین شوند را نشان می‌دهد.

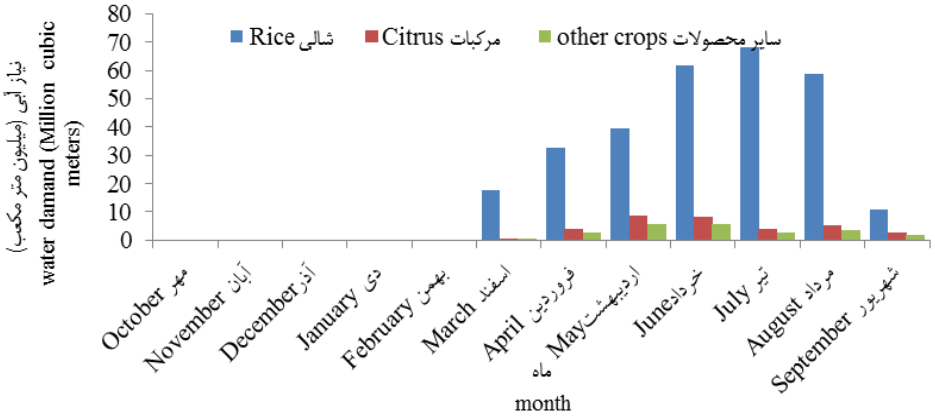


شکل ۳- حوضه آبریز تجن

Figure 3- Tajan Basin

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٤- نیاز آبی کشاورزی در هر ماه

Figure 4- Agricultural water demand per month (million cubic meters)

نتایج و بحث

در گام اول، مقدار آب آزاد شده از مخزن سد شهید رجایی به‌طور ماهانه با استفاده از سیاست بهره‌برداری استاندارد تعیین گردید. تأمین نیازهای شرب، صنعت و زیست‌محیطی نیز به‌عنوان قیود در مدل SOP لحاظ شد. به عبارت دیگر، ابتدا می‌بایست از حجم آب آزاد شده از مخزن سد، نیازهای شرب، صنعت و زیست‌محیطی تأمین گردد و سپس مقدار حجم آب باقیمانده به تأمین نیاز کشاورزی تخصیص داده شود. از دیگر قیود به کار رفته در مدل SOP می‌توان به مقدار جریان ورودی به مخزن سد که توسط ایستگاه هیدرومتری اندازه‌گیری شده و نیز محدودیت‌های فیزیکی مسئله از جمله حجم حداکثر و حجم حداقل سد اشاره نمود. نتایج این گام به‌عنوان بخشی از ورودی‌ها برای گام دوم استفاده می‌گردد. در شکل ۵ مقدار آب آزاد شده از مخزن سد به‌طور ماهانه برای یک سال نشان داده شده است. در گام دوم، با استفاده از مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک که در بخش مواد و روش‌ها توضیح داده شد، مقدار تخصیص اولیه به نیازهای کشاورزی پایین دست سد تعیین گردید. نیاز کشاورزی در پایین دست مخزن سد با توجه به تنوع کشت و سطح زیر کشت به سه دسته شالی، مرکبات و سایر محصولات تقسیم‌بندی شد. سایر محصولات شامل سیاه‌ریشه، گندم، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای و زیتون می‌باشد. همانطور که گفته شد برای تعیین نیاز آبی این محصولات از مدل Cropwat استفاده شد. مدل بهینه‌سازی برای یک دوره آماری ۱۸ ساله با توجه به داده‌های موجود، اجرا شد. با توجه به اینکه سود هر یک از محصولات به‌صورت سالانه محاسبه می‌گردد، تخصیص ماهانه به‌دست آمده از مدل الگوریتم ژنتیک باید به تخصیص سالانه تبدیل شود تا قابل استفاده در مدل شاپلی کریسپ باشد. در شکل ۶ تخصیص اولیه سالانه به سه دسته‌بندی شالی، مرکبات و سایر محصولات نشان داده شده است. نتایج این گام به عنوان ورودی برای گام سوم استفاده می‌گردد.

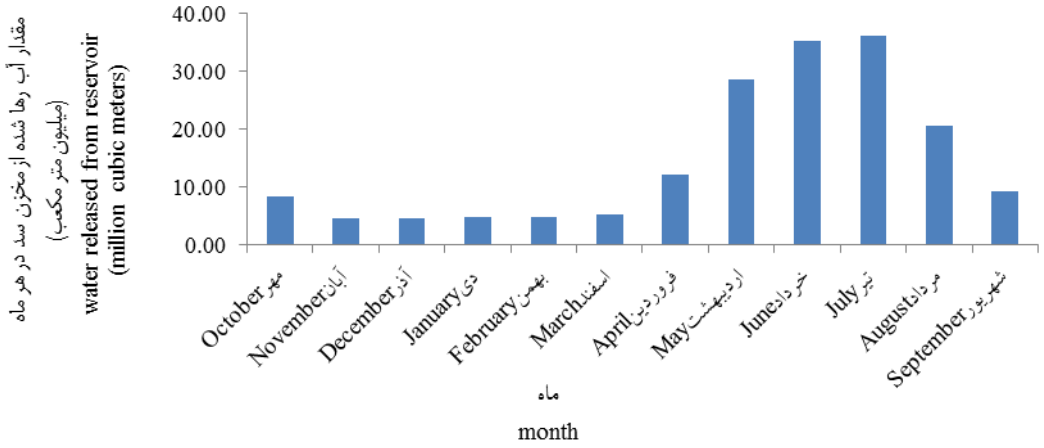
جدول ۱- مقادیر مهم‌ترین نیازهای پایین‌دست سد شهید رجایی (میلیون متر مکعب)

Table 1- The most important downstream demands of Shahid Rajaee Dam (million cubic meters)

نیاز آبی Water demand	شرب Drinking water sector	زیست‌محیط Environmental sector	صنعت Industry sector	کشت شالی Rice cultivation	کشت مرکبات Citrus cultivation	کشت سایر محصولات Other crops cultivation
April فروردین	2.30	7.4	1.10	32.71	3.97	2.69
May اردیبهشت	3.50	0.2	1.36	39.64	8.49	5.75
June خرداد	3.50	0.5	1.45	61.82	8.31	5.63
July تیر	4.70	1.1	1.87	68.20	3.89	2.64
August مرداد	4.10	1.7	1.63	58.70	5.12	3.47
September شهریور	3.50	1.7	1.36	10.61	2.86	1.94
October مهر	2.30	0.5	0.85	0.00	0.00	0.00
November آبان	1.10	1.2	0.51	0.00	0.00	0.00
December آذر	0.50	1.2	0.34	0.00	0.00	0.00
January دی	0.50	1.3	0.34	0.00	0.00	0.00
February بهمن	1.10	1.3	0.34	0.00	0.00	0.00
March اسفند	2.90	1.8	0.85	17.54	0.04	0.03

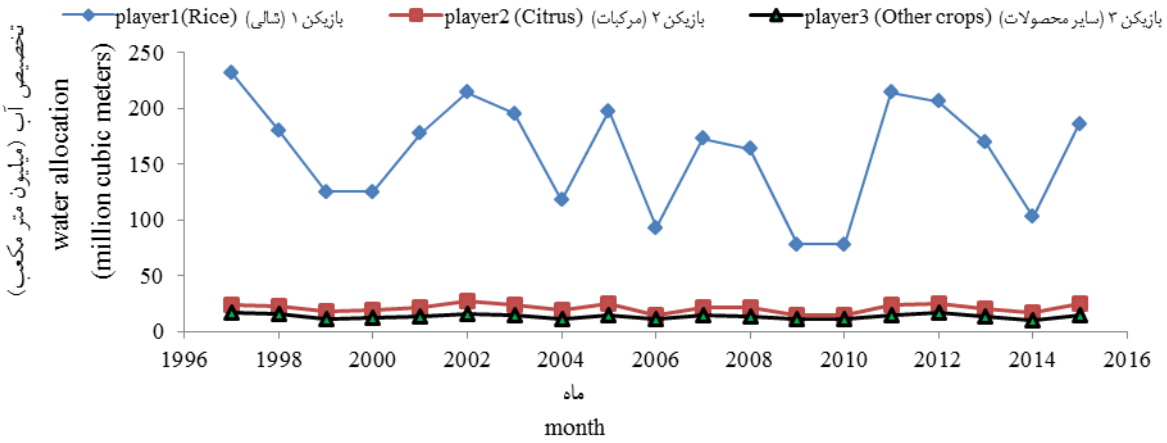
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵- مقدار آب رهاسازی شده از مخزن سد در هر ماه (میلیون متر مکعب)

Figure 5- The amount of released water from the reservoir per month (million cubic meters)



شکل ٦- تخصیص اولیه سالانه آب به نیازهای کشاورزی

Fig. 6- Annual allocation of water to agricultural demands

جدول ۲- ضریب سود بازیکنان به ازای هر متر مکعب آب

Table 2- The profit coefficient of players per each m^3 of water

بازیکن Player	(۱) شالی Rice	(۲) مرکبات Citrus	(۳) سایر محصولات Other crops
ضریب سود (ریال) Profit coefficient (Rial)	235	922	603

در این مرحله، با استفاده از ضریب سود بازیکنان و مقادیر تخصیص‌یافته از اجرای مدل الگوریتم ژنتیک، مقادیر سود اولیه برای هر یک از ذی‌نفعان محاسبه شد. جدول ۲ ضریب سود بازیکنان را بر اساس مقدار آب دریافتی و میزان عملکرد محصول، نشان می‌دهد.

در گام سوم، با استفاده از روش شاپلی کریسپ، مقادیر تخصیص آب به هر یک از بازیکنان و سودهای اقتصادی متناظر با آن‌ها به‌ازای ائتلاف کل[1] و نیز به‌ازای ائتلاف‌های دو به دوی بازیکنان به‌دست آمد. به این ترتیب که ابتدا ائتلاف تشکیل شده و بازیکنان با تمام سهم آب تخصیص‌یافته به خود (خروجی مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک)، در ائتلاف شرکت کرده‌اند. پس از آن با توجه به مقادیر ضریب سود هر یک از بازیکنان در ائتلاف، ابتدا به بازیکنی که ضریب سود بیشتری دارد و به‌همین ترتیب به بازیکنی که کمترین ضریب سود را در ائتلاف دارد، به مقدار نیاز آبی آن‌ها، آب تخصیص داده شد. پس از آن با توجه به مقادیر ضریب سود (جدول ۲)، مقدار سود هر یک از بازیکنان در ائتلاف محاسبه و در نهایت سود هر ائتلاف مشخص گردید. جدول ۳ مقادیر سودهای حاصل از آب تخصیص یافته به هریک از بازیکنان با شرکت در ائتلاف‌های مختلف را نشان

1- Grand Coalition

www.SID.ir

Archive of SID

می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد ائتلاف کل دارای سود بیشتری نسبت به ائتلاف های دوتایی و همچنین سود حاصل از تخصیص اولیه می‌باشد. در این مرحله به‌منظور تخصیص مجدد سود بین بازیکنان از رابطه ارزش شاپلی استفاده شد. پس از تخصیص آب به سه شرکت‌کننده بر اساس ائتلاف‌های مختلف، از آنجا که سهم عادلانه هر یک از آن‌ها در مرحله اول به‌دست آمد، در این مرحله، برای رعایت عدالت، باید پرداخت‌هایی بین بازیکنان صورت گیرد. هر یک از بازیکنانی که بیش از سهم به‌دست آمده خود در مرحله اول، آب دریافت کرده است به ازای سود اضافه آب به‌دست آمده، باید به بازیکنان دیگری که کمتر از سهم عادلانه خود آب به آن‌ها تخصیص داده شده است، پرداخت مالی انجام دهد. در جدول ۴ مقادیر سهم‌ها، پرداخت‌ها و دریافت‌های مالی بازیکنان بر اساس روش شاپلی ارائه شده است. مقادیر منفی در جدول ۴، مربوط به سهم پرداختی و مقادیر مثبت، مربوط به سهم سود دریافتی است. همان‌طور که در جدول ۳ ملاحظه می‌شود مجموع سود در ائتلاف کل بیشتر از بقیه ائتلاف ها می‌باشد. درحالی‌که، بازیکن اول در ائتلاف کل سود کمتری نسبت به سود حاصل از تخصیص اولیه دریافت می‌کند. بنابراین، به‌منظور ترغیب این بازیکن برای شرکت در ائتلاف کل، سهم دریافتی آن باید بیشتر از زمانی باشد که در هیچ ائتلافی شرکت نمی‌کند. میزان افزایش سهم بازیکن اول و سود دو بازیکن دیگر، با استفاده از ارزش شاپلی تعیین شد که نتایج آن در جدول ۴ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بازیکن اول می‌بایست مقدار ۶۵۳۰ میلیارد ریال از سود ائتلاف کل برداشت نماید که سود آن از مقدار ۵۱۱۵۰ میلیارد ریال به ۵۷۶۸۰ میلیارد ریال که برابر با ارزش شاپلی آن است، افزایش می‌یابد. بازیکن دوم می‌بایست مقدار ۴۵۷۲ میلیارد ریال به ائتلاف کل پرداخت نماید که سود آن از ۳۰۱۳۸ میلیارد ریال به ۲۵۵۶۶ میلیارد ریال کاهش می‌یابد. با این حال، سود بازیکن دوم همچنان از تخصیص اولیه بیشتر بوده و در نتیجه به شرکت در ائتلاف کل تمایل خواهد داشت. بازیکن سوم نیز می‌بایست مقدار ۱۹۵۸ میلیارد ریال به ائتلاف کل پرداخت نماید که سود آن از ۱۳۳۵۱ میلیارد ریال به ۱۱۳۹۳ میلیارد ریال کاهش می‌یابد. سود این بازیکن نیز همچنان از تخصیص اولیه بیشتر بوده و همانند بازیکن دوم به شرکت در ائتلاف کل تمایل خواهد داشت. در ائتلاف‌های دوتایی، در صورتی که یکی از بازیکنان در ائتلاف شرکت نکند، برابر سهم خود در تخصیص اولیه آب دریافت می‌کند. برای مثال، در صورتی‌که بازیکنان ۲ و ۳ که به ترتیب مرکبات و سایر محصولات می‌باشند، در یک ائتلاف شرکت کنند، بازیکن ۱ یا همان شالی که در ائتلاف شرکت نکرده است، سهمی معادل تخصیص اولیه برابر با ۵۴۵۵۸ میلیارد ریال (سود معادل آب دریافتی از تخصیص اولیه) در این دوره کشت دریافت می‌کند. با توجه به این‌که بازیکن ۳ نیز از آب موجود به میزان تعیین شده خود در تخصیص اولیه (براساس عدالت، نه سود اقتصادی) دارای سهم معینی می‌باشد، بازیکن ۲ موظف است معادل ارزش پولی سهم آب معین شده برای بازیکن ۳ در تخصیص اولیه، به این بازیکن پرداخت مالی انجام دهد. به این ترتیب پرداخت های پولی بین بازیکنان انجام می‌شود. روش ارائه شده برای دوره‌ی آماری ۱۸ ساله به منظور تخصیص آب بین ذی‌نفعان به‌کار گرفته شد که نتایج آن در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد در طول دوره آماری، تشکیل ائتلاف کل سبب افزایش سود کلی سیستم، بدون نیاز به هیچگونه هزینه اضافی و تنها با تغییر در مدیریت بهره‌برداری شده است.

جدول ۳- مقادیر سودهای حاصل از تخصیص آب به شرکت‌کنندگان در ائتلاف‌ها (میلیارد ریال)

Table 3- The profits of water allocation to the participants in the coalitions (Billion Rials)

سود Profit	تخصیص اولیه Initial allocation	نوع ائتلاف Type of coalition			
		ائتلاف ۱ و ۲ Coalition 1 and 2	ائتلاف ۱ و ۳ Coalition 1 and 3	ائتلاف ۲ و ۳ Coalition 2 and 3	ائتلاف کل Grand coalition
بازیکن ۱ (شالی) Player1 (Rice)	54558	52510	53198	54558	51150
بازیکن ۲ (مرکبات) Player2 (Citrus)	22116	30138	22116	30138	30138
بازیکن ۳ (سایر محصولات) Player 3 (Other crops)	9869	9869	13351	4625	13351
ائتلاف Coalition	-	82648	66549	34763	94639
مجموع Total	86543	92517	88665	89321	94639

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤-مقادیر پرداخت‌ها و دریافت‌های مالی بازیکنان بر اساس روش شاپلی کریسپ (میلیارد ریال)

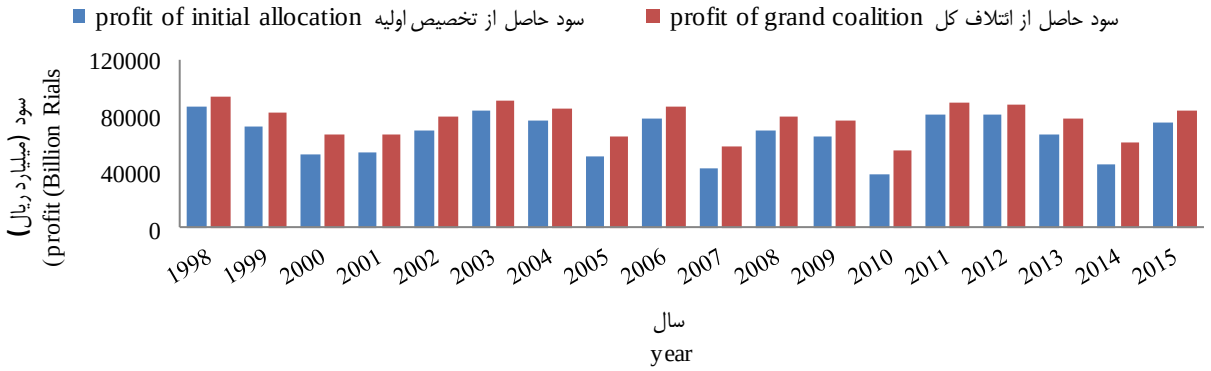
Table 4- Players' payments and receipts based on Shapley Crisp game (Billion Rials)

سود معادل آب Equivalent water revenues		بازیکن ۱ (شالی) Player 1 (Rice)	بازیکن ۲ (مرکبات) Player 2 (Citrus)	بازیکن ۳ (سایر محصولات) Player 3 (Other crops)
	مدل بهینه سازی Optimization model	51150	30138	13351
ائتلاف کل Grand coalition	ارزش شاپلی shapely value	57680	25566	11393
	سهم قابل پرداخت یا دریافت Payable or receivable share	6530	-4572	-1958
	سهم به دست امده در ائتلاف			
ائتلاف ۱ و ۲	share of the coalition	52510	30138	9869
Coalition 1 and 2	سهم قابل پرداخت یا دریافت Payable or receivable share	2048	-2048	0
	سهم به دست امده در ائتلاف			
ائتلاف ۱ و ۳	share of the coalition	53198	22116	13351
Coalition 1 and 3	سهم قابل پرداخت یا دریافت Payable or receivable share	1360	0	-1360
	سهم به دست امده در ائتلاف			
ائتلاف ۲ و ۳	share of the coalition	54558	30138	4625
Coalition 2 and 3	سهم قابل پرداخت یا دریافت Payable or receivable share	0	-5245	5245

به‌طور کلی نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که سود کلی سیستم با شرکت بازیکنان در ائتلاف کل افزایش می‌یابد. همچنین روش شاپلی کریسپ در تعیین سود بازیکنان از کارایی بالایی برخوردار است. نتایج این پژوهش، با نتایج دیگر پژوهش‌های انجام شده در زمینه مدیریت و تخصیص منابع آب هم‌خوانی دارد. به‌عنوان مثال، مهرپرور و همکاران (۱۵) در پژوهشی، به بررسی روش‌های شاپلی، نوکلئوس و نش- هارسنی به‌منظور تخصیص آب بین بخش‌های کشاورزی و صنعت و محیطزیست پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد زمانی‌که ذی‌نفعان در ائتلاف کل شرکت کنند، بهترین نتیجه برای آن‌ها رخ خواهد داد. همچنین به این نتیجه رسیدند که روش شاپلی نسبت به روش نوکلئوس و نش- هارسنی در ائتلاف کل و ائتلاف‌های جزئی با در نظر گرفتن سود ذی‌نفعان، از کارایی بهتری برخوردار است. نتایج پژوهش صادق و همکاران (۱۸) نیز نشان داد که ارزش شاپلی بازیکنان، زمانی که در ائتلاف کل شرکت کنند در مقایسه با زمانی که در هیچ ائتلافی شرکت نکنند، بیشتر خواهد بود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تخصیص آب از مخزن سد شهید رجایی در حوضه آبریز تجن بر اساس تقسیم عادلانه سود مورد بررسی قرار گرفت. مدل بهینه‌سازی با استفاده از رویکرد بازی همکارانه شاپلی کریسپ با هدف حداکثر کردن سود کلی سیستم و نیز افزایش سود بازیکنانی که در ائتلاف شرکت کرده‌اند، تدوین شد.



شکل ۷- مقایسه سودهای حاصل از تخصیص اولیه و ثانویه آب

Figure 7- Comparison of profits from primary and reallocation of water

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین میزان پرداخت‌های مالی بین ذی‌نفعان در ائتلاف بر اساس ارزش شاپلی تعیین گردید. ائتلاف‌های تشکیل شده اثرات مدیریت را در سیاست‌های مربوط به تأمین آب و مدیریت تقاضا در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بهترین نتایج زمانی حاصل می‌شود که بازیکنان یک ائتلاف کل را تشکیل دهند. به عبارت دیگر، با شرکت در ائتلاف کل و تخصیص مجدد آب و سود میان بازیکنان، سود کلی سیستم ۱۰ درصد و سود بازیکنان ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۶، ۱۶ و ۱۵ درصد نسبت به حالتی که در ائتلاف کل شرکت نکنند، افزایش می‌یابد. بنابراین، تخصیص آب باید بر اساس یک ائتلاف کل صورت گیرد که نیازمند همکاری و مشارکت همه ذی‌نفعان می‌باشد به‌طوری که هیچ‌یک از آن‌ها مدعی تأمین نیاز آبی خود به طور کامل نباشند. نتایج نشان می‌دهد که این روش می‌تواند برای تخصیص عادلانه منابع اعمال گردد. همچنین از این روش می توان برای حل اختلافات اجتماعی میان تصمیم‌گیرندگان نیز استفاده نمود.

منابع

1- Aadland A., and Kolpin V. 2004. Erratum to Environmental determinants of cost sharing. Journal of Economic Behavior & Organization 55(1): 05-121.
2- Abdoli Gh. 2016. Game theory and its applications: Incomplete information, Evolutionary and cooperative games. Samt Press, 352P. (In Persian)
3- Asadi A., Keramatzadeh A., and Eshraghi F. 2018. Determining the optimal exploitation of groundwater resources by using game theory (Case study: Gorgan county). Journal of Water and Soil Conservation 25(3): 129-144.
4- Aubin J.P. 1981. Locally lipschitz cooperative games. Journal of Mathematical Economics 8(3): 241-262.
5- Emadi A.R., Khademi M., and Kakouei S. 2016. Evaluation of yield model and standard operation policy in developing of operation rule curve (Case study: Shahid Rajaei Dam). Journal of Water and Soil Conservation 22(6): 217-229.
6- Fisvold G.B., and Caswell M.F. 2000. Transboundary water management: game theoretic lessons for projects on the US–Mexico border. Journal of Agricultural Economics 24: 101–111.
7- Han Q., Tan G., Fu W., Mei Y., and Yang ZH. 2018. Water resource optimal allocation based on multi-agent game theory of HanJiang River Basin. Journal of Water 10(9): 1184.
8- Huang X., Chen X., and Huang P. 2018. Research on fuzzy cooperative game model of allocation of pollution discharge rights. Journal of Water 10(5): 662.
9- Kashefi Nezhad P., Hooshmand A.R., and Boroomandnasab S. 2018. Optimal allocation of water resources using non-dominated sorting genetic algorithm (Case study: Hamidiyeh irrigation network). Journal of Water and Soil Conservation 25(6): 239-253.
10- Kilgore D.M., and Dinar A. 2001. Flexible water sharing within an international river Basin. Journal of Environmental and Resource Economics 18(1): 43–60.
11- Lejano R.P., and Davos C.A. 1995. Cost allocation of multiagency water resource projects: game theoretic approaches and case study. Journal of Water Resources Research 31(5): 1387–1393.
12- Lippai I., and Heaney P. 2000. Efficient and equitable impact fees for urban water systems. Journal of Water Resources Planning and Management 126(2): 75–84.
13- Madani K. 2010. Game Theory and Water Resources. Journal of Hydrology 381: 225-238.
14- Madani K., and Hipel K.W. 2011. Non-cooperative stability definitions for strategic analysis of generic water resources conflicts. Journal of Water Resource Management 25(8): 1949–1977.
15- Mehrparvar M., Ahmadi A., and Safavi H.R. 2015. Social resolution of conflicts over water resources allocation in a river basin using cooperative game theory approaches: a case study. International Journal of River Basin Management 14: 33-45.
16- Niksokhan M.H., Kerachian R., and Karamouz M. 2009. A game theoretic approach for trading discharge Permitsin Rivers. Journal of Water Science and Technology 60(3): 793-804.
17- Raquel S., Ferenc S., Emery J., and Abraham R. 2007. Application of game theory for a groundwater conflict in Mexico. Journal of Environmental Management 84: 560–571.
18- Sadegh M., Mahjouri N., and Kerachian R. 2010. Optimal inter-basin water allocation using crisp and fuzzy Shapley games. Journal of Water Resources Management 24(10): 2291-2310.
19- Sheikhmohammady M., and Madani K. 2008a. Bargaining over the Caspian Sea–the largest lake on the earth. In: Proc. of World Environmental and Water Resources Congress on American Society of Civil Engineers (ASCE 2008), Honolulu, Hawaii, 1–9.
20- Shapley L.S. 1953. A value for n-person game. Journal of Operations Research 28: 307–318.
21- Straffin P., and Heaney J. 1981. Game theory and the Tennessee valley authority. International Journal of Game Theory 10(1): 35–43.
22- Suzuki M., and Nakayama M. 1976. The cost assignment of the cooperative water resource development: a game theoretical approach. Journal of Management Science 32(10): 1081–1086.

www.SID.ir

Archive of SID

23- Tisdell J.G., and Harrison S.R. 1992. Estimating an optimal distribution of water entitlements. Journal of Water Resources Research 28(12): 3111–3117.
24- Von Neumann J., and Morgenstern O. 1944. Theory of games and economic behavior. Princeton University Press, Princeton.
25- Wang L., Fang L., and Hipel K.W. 2008. Basin-wide cooperative water resources allocation. European Journal of Operational Research 190(3): 798–817.
26- Young H., Okada N., and Hashimoto T. 1982. Cost allocation in water resources development. Journal of Water Resources Research 18(3): 463–475.

www.SID.ir

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 5, Nov.-Dec. 2019, p. 695-708

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۸، ص. ۷۰۸-۶۹۵

Integrated Model of Water Optimal Allocation with a Cooperative Game Approach Case Study: Shahid Rajaee Dam

M. Noori[1]- A. Emadi [2*]- R. Fazloula[3]

Received: 02-09-2019
Accepted: 25-11-2019

Introduction: Population growth and water resource constraints make optimal operation of available resources important. Considering the utility of the stakeholders and the physical limitations of the problem, the optimal allocation of water resources is, therefore, necessary. Among the proposed strategies, the game theory is one of the methods used to improve water resources management. Also, in order to achieve the optimal and fair allocation, a model and method should be selected in accordance to the conditions. Our main purpose was to study the optimal water allocation from the dam reservoir by increasing the overall profitability of the system through forming a coalition as well as increasing the profits of each water users participated in the coalition. Increase in profits will be possible without the need for any additional costs and only with the change in the operation management. Integration of Genetic Algorithm optimization model with Shapley Crisp game theory can be considered as the innovation of this research work applied to optimally allocate water from Shahid Rajaee Dam reservoir to downstream needs.

Materials and Methods: In this study, a new methodology based on crisp Shapley games is developed for optimal water allocation from the dam reservoir. First, the standard operation policy was used to determine the volume of available water. Then, the optimization model of the Genetic Algorithm was employed for initial allocation considering an equity criterion. The Crisp Cooperative Game Theory was then applied for secondary optimization of water allocation among stakeholders. The possible coalitions for increasing the overall system profits were formed using the Shapley method and the profits of each coalition were then calculated. Finally, the Shapley's value relationship was used to reassign profits to players in order to encourage them to participate in the grand coalition. This study was carried out on Shahid Rajaee dam located in 45 kilometers southwest of Sari in Tajan basin. This dam mainly supplies agricultural and drinking water. Rice and citrus production were the largest and second largest water consumer, respectively.

Results and Discussion: In this study, the monthly amount of water released from Shahid Rajaee Dam reservoir was determined by using standard utilization policy and then the amount of initial allocation to downstream dam needs was calculated using genetic algorithm optimization model. Then, by using the players' profit coefficient and the amounts allocated from the implementation of the genetic algorithm model, the initial profit values were calculated for each stakeholder. Employing the Shapley Crisp method, the amounts of water allocated to each player and their corresponding economic benefits were obtained for the grand and two-player coalition. The results showed that the grand coalition had more benefits than the binary coalitions as well as the initial allocation. At this step, the Shapley value relationship was used to reallocate the profits among the players. After allocating water to three participants based on different coalitions, since the fair share of each was obtained in the first step, payments must be made between the players in order to be fair. The player who receives more water share determined at the first step must pay money to other players receiving water less than their fair share. The method proposed for the 18 years statistical period was used to allocate water among the stakeholder. According to the findings, the formation of a grand coalition increases overall system profit without the need for any additional costs and only with revising the operation management.

Conclusion: In this research, an integrated model of optimization was developed using Genetic Algorithm and Shapley Crisp Cooperative Game Approach. The amount of financial payments among the stakeholders in the coalition was also determined based on the Shapely value. Constituent coalitions show the management impacts on

1, 2 and 3 - Ph.D. Candidate and Associate Professors, Department of Water Structure Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: emadia355@yahoo.com)

www.SID.ir

Archive of SID

water policy and demand management in the studied area. The best results were obtained when players formed a grand coalition. In other words, by participating in the grand coalition and reallocation of water and profits among players, the overall system profits will increase by 10 % and the profits of players cultivating rice, citrus and other agricultural products will rise by 6, 16 and 15 %, respectively, as compared with the condition the players do not participate in the grand coalition and water allocation is only done using the Genetic Algorithm. Therefore, the water allocation should be based on a grand coalition requiring the cooperation and participation of all stakeholders. The results indicate that this method can be applied to allocate resources equitably. It can be also used to solve social conflicts among decision-makers.

Keywords: Game theory, Optimization model, Shahid Rajaee dam, Water allocation, Water resources management

www.SID.ir