اقتصاد کشاورزی/جلد ۱۳/شماره۴/صفحه های ۱۲۶-۱۰۵

ادغام دو روش بازی هسته و ورشکستگی غیرقطعی به‌منظور تخصیص بهینه‌ی آب حوضه‌ی گرگانرود– قره‌سو

شهرزاد میرکریمی، حمید امیرنژاد، رامتین جولایی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۰۷

چکیده

در دهه‌ی گذشته آب تبدیل به کالایی راهبردی شده به‌طوری‌که این کالا نه‌تنها دارای اهمیت اقتصادی و اجتماعی است، بلکه اهمیت امنیتی یافته و پیش‌بینی می‌شود که طی سال‌های آتی عامل اصلی برخی درگیری‌ها بین ذینفعان شود. این امر ضرورت مدیریت منابع آبی را آشکار می‌سازد. در این میان، مدیریت آب حوضه‌های مشترک به‌دلیل وجود ذینفعان مختلف پیچیده‌تر از حوضه‌های غیرمشترک است. این بررسی بر مبنای اطلاعات سال ۱۳۹۴ به تخصیص آب حوضه‌ی مشترک گرگانرود–قره‌سو بین استان‌های گلستان، سمنان و خراسان شمالی و تعیین سهم هر یک از بخش‌های کشاورزی، صنعت و محیط زیست می‌پردازد. بدین منظور برای نخستین بار از ادغام دو روش هسته و ورشکستگی غیرقطعی که زیرمجموعه‌ای از نظریه بازی همکارانه هستند استفاده می‌گردد. مدل‌های همکارانه از همان آغاز بر پایه‌ی همکاری و تشکیل ائتلاف بین ذینفعان شکل می‌گیرد. نتایج روش هسته نشان می‌دهد حضور همه‌ی ذینفعان در یک ائتلاف منجر به کسب بیشترین منفعت خالص به میزان ۲۴،۲۱۱،۷۹۰ میلیارد ریال می‌شود. سپس به کمک ارزش شاپلی مشخص شد که بخش کشاورزی استان گلستان با ۴۹ درصد دارای بیشترین سهم از منفعت ایجاد شده و بالاترین قدرت در بازی است. روش گاتلی نیز پایداری ائتلاف اصلی را پس از جلب رضایت این بازیکن تأیید می‌کند. سپس روش ورشکستگی غیرقطعی با مقایسه قوانین مختلف ورشکستگی در ۵ سناریو به‌کار برده شد. برآیند دو روش اکثریت آرا و شاخص پایداری گویای آن است که قانون ورشکستگی نسبی تعدیل‌شده می‌تواند گزینه‌ی عادلانه‌ای برای تعیین سهم ذینفعان باشد. در صورت ادغام نتایج روش هسته و ورشکستگی با اعمال سناریوی نخست سهم تأمین شده‌ی نیاز بخش‌های کشاورزی، صنعت و محیط زیست گلستان ۹۸/۱۳، ۴۶ و ۴۸/۵ درصد، سهم بخش‌های کشاورزی و محیط زیست سمنان ۴۷/۷۸ و ۴۳/۶۴ درصد و سهم بخش‌های کشاورزی و محیط زیست خراسان شمالی ۵۱/۰۳ و ۴۳/۶۴ درصد خواهد بود و منفعتی برابر با ۱۳،۵۳۲،۸۳۰میلیارد ریال ایجاد خواهد شد.

طبقه‌بندی JEL: N50, Q25, C71, C1.

واژه‌های کلیدی: نظریه بازی، بازی همکارانه، مدیریت بهینه‌ی منابع آبی مشترک، حوضه‌ی گرگانرود–قره‌سو.

۱ به ترتیب: دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

Email: Shahrzadmirkarimi@yahoo.com

مقدمه

با توجه به رشد روزافزون تقاضا و محدودیت منابع آبی، توانایی ملت‌ها برای حل صلح‌آمیز کشمکش‌های بین‌المللی بر سر مسئله پیچیده‌ی تخصیص آب، عامل مهمی در ثبات و امنیت روابط بین‌المللی خواهد بود (Mostert, 2003). محدودیت منابع آبی در ابعاد درون‌مرزی نیز بر بستر تفاوت‌های قومی و نابرابری‌های اجتماعی- اقتصادی می‌تواند زمینه‌ساز تبدیل اختلاف‌ها و درگیری‌های کوچک به ناآرامی‌های گسترده شود (Roozbahani et al., 2015). در این میان، مدیریت آب در حوضه‌های آبریز مشترک پیچیده‌تر از حوضه‌های غیرمشترک است. تاکنون، بیش از ۲۷۶ حوضه‌ی مشترک بین‌المللی در جهان شناخته شده که ۱۴۷ کشور در آن‌ها باهم اشتراک دارند. همچنین، حدود ۴۰ درصد جمعیت جهان در این حوضه‌ها که حدود ۶۰ درصد آب‌های شیرین جهان را تشکیل می‌دهند، سکونت دارند (De Stefano et al, 2012).

حوضه‌های آبریز مشترک نیازمند همکاری‌های مشترک‌اند، به‌گونه‌ای که نبودن تأمین پایداری این حوضه‌ها مانع از کارایی کارآمد این منابع حیاتی و در معرض خطر گرفتن پایداری آن‌ها برای نسل‌های آینده می‌شود (Swain, 2015. Mianabadi et al., 2014). منشأ درگیری‌ها در مدیریت حوضه‌های مشترک را بیشتر می‌توان وجود نوعی نبود تقارن در اطلاعات، قدرت و یا موقعیت دانست (Just & Netanyahu, 1998). نمونه‌ای از چنین اختلاف‌ها مابین کشورهای سوریه، عراق و ترکیه بر سر رودخانه‌های دجله و فرات (Hipel and Walker, 2012)، کشورهای هند و پاکستان بر سر رودخانه‌ی گنگ (Poorsepahy-samian & Kerachian, 2011) و بین ایالات نوادا و یوتا بر سر حق‌آبه دره اسنیک در جنوب غربی آمریکا (Philpot et al. 2017) وجود دارد.

در ایران نیز طی سال‌های اخیر عامل‌های بسیار و چندی از جمله کاهش ریزش‌های جوی، توزیع نامناسب بارش، تبخیر و تعرق فراوان ناشی از افزایش میانگین دما، نامنظم بودن جریان آب در سال‌ها یا فصل‌های مختلف، به همراه دخالت عامل‌های انسان‌ساختی مانند سدسازی، افزایش شدید فعالیت‌های کشاورزی، برداشت بی‌رویه و غیراصولی از آب‌های سطحی سبب بروز مخاطره محیط زیستی جبران‌ناپذیر شده و حوضه‌های مشترک داخلی را با بحران کم‌آبی روبه‌رو ساخته است (Daneshi et al., 2015). درگیری‌ها بین سه استان آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و کردستان بر سر دریاچه ارومیه (Danesh-Yazdi et al., 2014) و بروز اختلاف‌ها بین چهار استان آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، کردستان و زنجان بر سر حوضه‌ی آبریز زرینه‌رود (Zarghami & Safari, 2013) نمونه‌هایی در این زمینه است.

نکته‌های مورد اشاره‌ی بالا لزوم مدیریت آب در حوضه‌های مشترک را آشکار می‌سازد. حوضه گرگانرود- قره‌سو از جمله حوضه‌های مشترک است که ۸۴ درصد از آن در استان گلستان، ۱۰ درصد در استان خراسان شمالی و ۶ درصد در استان سمنان واقع است. بررسی‌ها گویای آن است که در سال ۱۳۹۴ هیچ‌گونه سازوکار قانونی یا توافقنامه‌ای ملی برای بهره‌برداری از آب این حوضه وجود ندارد و چنانچه روند مصرف کنونی ادامه یابد، در آینده‌ای نه‌چندان دور این مسئله سبب بروز چالش و اختلاف بین ذینفعان می‌شود. با توجه به وجود گرایش به همکاری بین ذینفعان دو فرضیه مطرح می‌شود: الف. مناقع ایجاد شده در حالت تشکیل ائتلاف بین ذینفعان به‌منظور تخصیص بهینه‌ی منابع آبی حوضه آبریز گرگانرود- قره‌سو، نسبت به حالت غیرهمکارانه بیشتر است. ب. تخصیص بهینه‌ی آب این حوضه، اثرگذاری‌های زیست‌محیطی (فرسایش خاک) را در منطقه کاهش می‌دهد.

لازم به یادآوری است در شرایط کنونی (حالت غیرهمکارانه) کل منافع خالص کنونی حوضه، با توجه به میزان آب مصرف شده در سال ۱۳۹۴، برابر با ۱۵،۳۶۶،۵۵۲ میلیارد ریال می‌باشد (Ministry of Energy, 2013).

با توجه به اینکه در حوضه‌های مشترک، ذینفعان مختلفی سهیم هستند و تخصیص آب به هر یک از آن‌ها در بهره‌مندی‌های دیگری تأثیر دارد، لذا روش نظریه بازی‌ها می‌تواند در مدل‌سازی تخصیص این منبع حیاتی استفاده شود (Salehi et al., 2010). از ویژگی‌های مهم نظریه بازی‌ها نسبت به دیگر روش‌های بهینه‌یابی، توانایی در شبیه‌سازی جنبه‌های مختلف تقابل بازیکنان، متحدالشکل کردن ویژگی‌های متنوع مسئله و پیش‌بینی نتایج و تحلیل در صورت عدم حضور اطلاعات مقداری پیامدهای بازی است (Ambec & Ehlers, 2007. Niksokhan et al., 2009). بررسی‌های پیشین گویای آن است که رویکرد نظریه بازی‌ها در داخل و خارج کشور دارای جایگاه مطلوبی بوده و از این روش در تخصیص سفره‌های آب زیرزمینی، سدها و رودخانه‌ها بهره گرفته شده است (Mazandarani Zadeh et al., 2009. Salehi et al., 2010. Pourzand & Zibaei, 2011. Madani & Zarezadeh, 2012. Dinar & Nigatu, 2013. Zarghami & Safari, 2013. Mianabadi et al., 2014. Degefu et al., 2017. Philpot et al. 2017. Taraghi et al., 2017. Yuan et al, 2017. Bani Habib & Najafi Morghmaleki, 2018).

نتایج برخی بررسی‌های گذشته نشان می‌دهد اگرچه منافع مدل‌های همکارانه، بیشتر است، ضمانت تحقق عملی آن‌ها نسبت به مدل‌های غیرهمکارانه کمتر است (Mazandarani Zadeh et al., 2009. Safaee & Malek Mohammadi, 2014). لذا در این تحقیق روش نظریه

ورشکستگی به‌عنوان روشی مکمل در کنار روش هسته به‌کار برده می‌شود؛ تا قوانین به‌دست آمده از آن، پایه و مبنایی برای موفقت‌نامه‌های قابل اجرا باشد. همچنین تاکنون در داخل کشور نظریه ورشکستگی در موقعیت‌های قطعی استفاده شده است؛ از این رو، آنان موفق به بررسی رفتار تصادفی حوضه‌های آبریز نشده‌اند. اما این بررسی عدم قطعیت در حجم ذخایر و نیاز ذینفعان را لحاظ می‌کند. افزون بر این، بررسی پیامدها و اثرگذاری‌های جانبی ناشی از تخصیص آب بر بوم نظام منطقه موضوع مهمی است که در بررسی‌های داخلی توجهی به آن نشده است. در حالی‌که فرسایش خاک در منطقه‌های پایین دست از جمله مهم‌ترین پیامدهای برداشت بی‌رویه و نادرست آب حوضه‌های آبریز است که در این بررسی در نظر گرفته می‌شود.

روش تحقیق

رهیافت‌های گوناگون نظریه‌ی بازی‌ها را می‌توان از منظر امکان‌پذیر بودن یا نبودن توافق و همکاری بین بازیکنان به لحاظ علمی و عملی به دو دسته‌ی همکارانه و غیرهمکارانه تقسیم کرد. ممکن است بازیکنان در حین انجام بازی پیرامون انتخاب یک راهبرد مناسب با هم توافق کنند. اگر توافق بین بازیکنان قابل اجرا و عملی باشد، بازی را «همکارانه[1]» و در غیر این صورت، آن را «غیرهمکارانه[2]» گویند (Abdoli, 2011).

شیوه‌ی مدل‌سازی و تحلیل درگیری‌ها در این دو رهیافت، بسیار با یکدیگر متفاوت است. بازی‌های همکارانه جزء گروه بازی‌های با اطلاعات کامل می‌باشد که در آن بازیکنان از روش تصمیم‌گیری و نتایج ناشی از هر تصمیم دیگر بازیکنان مطلع هستند (Musavi et al., 2012). در بازی‌های همکارانه، تصمیم‌گیری‌ها در قالب ائتلاف‌ها و یا گروه‌ها شکل می‌گیرد و به بررسی و ارزیابی میان ائتلاف‌ها با هدف تخصیص سود به هر بازیکن پرداخته می‌شود (Taklif, 2013). تاکنون روش‌های مختلفی به‌منظور حل بازی‌های همکارانه پیشنهاد شده است که در ادامه به دو روش هسته و ورشکستگی پرداخته می‌شود:

روش هسته[3]:

روش‌های سنتی بهینه‌سازی برای تخصیص منابع محدود بر این فرض استوار است که همه‌ی ذینفعان، آماده به همکاری با یکدیگر هستند. اما در واقعیت ممکن است این امکان برای هر یک

---

[1] Collaborative Game
[2] Non-Collaborative Game
[3] Core

از ذینفعان وجود داشته باشد که به‌منظور افزایش بهره‌مندی خود نوعی دیگر از همکاری مانند همکاری جزئی و یا عملکرد منحصر به فرد را برگزینند. وجود یک چنین شرایطی منشأ به وجود آمدن اختلاف و درگیری بین ذینفعان بوده و به همین دلیل، ارائه یک روش کارا و پایدار تخصیص ضروری به نظر می‌رسد. یکی از روش‌های متداول به‌منظور تعیین دامنه تخصیص‌های ممکن که همه‌ی بازیکنان حاضر به پذیرش آن‌ها هستند، هسته است. در واقع هسته، مجموعه‌ای از همه‌ی تخصیص‌های قابل قبول برای بازیکنان به واسطه همکاری با یکدیگر است (Danesh-Yazdi et al., 2014). این روش را می‌توان بر مبنای شش مرحله‌ی زیر تعریف کرد:

مرحله ۱) معرفی بازیکنان[1] (N): اگر Q_{ij} حجم آب اختصاص‌یافته به بخش jام (j=AGR,IND,INV) در استان iام (i= G,S,KH) باشد، می‌توان ۷ بازیکن (بخش کشاورزی استان گلستان، بخش صنعت استان گلستان، بخش محیط زیست استان گلستان، بخش کشاورزی استان سمنان، بخش محیط زیست استان سمنان، بخش کشاورزی استان خراسان شمالی و بخش محیط زیست استان خراسان شمالی) را در نظر گرفت. لازم به یادآوری است همه‌ی صنایع فعال در استان گلستان واقع شده‌اند.

مرحله ۲) بررسی شمار کل ائتلاف‌های[2] قابل تشکیل ($2^N=128$): در این بررسی با توجه به دیدگاه‌های کارشناسان، ۱۳ ائتلاف ممکن در قالب تکی (ائتلاف شماره ۱ تا ۷)، جزئی (ائتلاف شماره ۸ تا ۱۲) و اصلی (ائتلاف شماره ۱۳) در نظر گرفته شده است.

مرحله ۳) محاسبه‌ی تابع مشخصه[3]: تابع مشخصه در روش بازی همکارانه می‌تواند با توجه به ویژگی‌های حوضه و هدف‌های تحقیق هر نوع مدل برنامه‌ریزی ریاضی را در برگیرد. بدین منظور از رابطه (۱) استفاده شده است؛ به‌طوری‌که تابع هدف بیشینه سالانه منفعت خالص سالانه‌ی حوضه مورد بررسی را نشان می‌دهد (Dinar & Nigatu, 2013). در این رابطه زیان اقتصادی ناشی از فرسایش خاک به دلیل فعالیت‌های انسانی در بخش‌های کشاورزی و صنعت از مجموع تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان آب در بخش‌های مصرفی (کشاورزی، صنعت و محیط زیست) سه استان ذینفع (گلستان، سمنان و خراسان شمالی) کسر می‌شود. لازم به یادآوری است در پژوهش حاضر به سبب حیاتی بودن آب و نیاز مبرم مردم، میزان آب شرب مصرفی را از حجم آب حوضه کسر می‌کنیم تا تخصیص منابع آب بین سه بخش باقی‌مانده به‌صورت بهینه اجرا شود.

---

[1] Player
[2] Coalitions
[3] Characteristic Function

$$\text{Max } z = \sum_{i=1}^{3} \int P_{i,AGR} + \int P_{G,IND} + \sum_{i=1}^{3} P_{i,INV} Q_{i,INV} - c \sum_{i=1}^{3} (Q_{i,AGR} + Q_{G,INV}) \quad (1)$$

Subject to :

$$b_{i,AGR} \le Q_{i,AGR} \le d_{i,AGR} \quad i = 1,2,3$$
$$b_{G,IND} \le Q_{G,IND} \le d_{G,IND}$$
$$b_{i,INV} \le Q_{i,INV} \le d_{i,INV} \quad i = 1,2,3$$
$$\sum_{ij} Q_{ij} \le W$$

که در آن G: گلستان، S: سمنان، KH: خراسان شمالی؛ AGR: کشاورزی، IND: صنعت و INV: محیط زیست؛ $P_{i,AGR}$: معکوس تابع تقاضای کوتاه‌مدت آب در بخش کشاورزی استان iام، $P_{G,IND}$: معکوس تابع تقاضای کوتاه‌مدت آب در بخش صنعت استان گلستان، $P_{i,INV}$: ارزش اقتصادی هر متر مکعب آب محیط زیستی در هر استان؛ C: هزینه هر متر مکعب تخریب خاک؛ $b_{i,AGR}$($d_{i,AGR}$): کمینه (بیشینه) نیاز آبی بخش کشاورزی در هر استان، $b_{G,IND}$($d_{G,IND}$): کمینه (بیشینه) نیاز آبی بخش صنعت در استان گلستان، $b_{i,INV}$($b_{i,INV}$): کمینه (بیشینه) نیاز آبی بخش محیط زیست در هر استان و W: کل آب قابل استحصال از منابع سطحی و زیرزمینی حوضه پس از کسر آب شرب را نشان می‌دهد (Mirkarimi,2020).

مرحله ۴) شناسایی ائتلاف برتر بر مبنای معیارهای عقلانیت فردی[1] و جمعی[2] (رابطه ۲). این معیارها بیان می‌کند میزان اختصاص یافته به بازیکنان در ائتلاف جزئی کمتر از حالت غیرهمکارانه نمی‌باشد. میزان اختصاص یافته به بازیکنان در ائتلاف اصلی کمتر از ائتلاف جزئی نمی‌باشد.

$$c(N,v) = \left\{ x \in X^* \middle| \sum x_i = v(N), \sum x_i \ge v(s) \forall s \subseteq N \right\} \quad (2)$$

مرحله ۵) تخصیص عواید ناشی از ائتلاف برتر بین بازیکنان بر مبنای ارزش شاپلی[3] (رابطه ۳). به‌طوری‌که مقدار و علامت ارزش شاپلی هر دو دارای اهمیت می‌باشند. بزرگ بودن مقدار آن نشان دهنده‌ی سهم بیشتر آن بازیکن در افزایش منفعت خالص است و این موضوع می‌تواند به‌عنوان یک شاخص برای اندازه‌گیری قدرت هر بازیکن در یک بازی باشد. همچنین علامت آن نشان می‌دهد که بازیکن مورد نظر به افزایش (در صورت مثبت بودن) و یا کاهش (در صورت منفی بودن) خروجی مدل منجر می‌شود (Danesh-Yazdi et al.,2014).

---

[1] individual rationality
[2] Group rationality
[3] Shapley value

$$\varphi_i = \sum_{i \in S} \frac{(|S|-1)!(|N|-|S|)!}{|N|!}\left[v(S) - v(S \setminus \{i\})\right] \quad (۳)$$

مرحله ۶) بررسی پایداری ائتلاف بر مبنای روش گاتلی[۱] (رابطه ۴). اگر این شاخص کوچک‌تر از یک باشد، نشان‌دهنده‌ی رضایت بازیکنان از نتایج بازتوزیع سود است (Danesh-Yazdi et al.,2014).

$$d_i = \frac{\sum_{i \neq k} \varphi_k - v(N \setminus \{i\})}{\varphi_i - v(i)} \quad (۴)$$

که در رابطه (۲) تا (۴) x: پیامد بازی، $v(N)$: ارزش ائتلاف اصلی، φ_i: میزان سود تخصیص داده شده به بازیکن i، $|S|$: تعداد اعضای ائتلاف S، $v(S)$: ارزش ائتلاف S، $v(S \setminus \{i\})$: ارزش ائتلاف S بدون حضور بازیکن i، d_i: میزان گرایش به عدم همکاری بازیکن i و $v(N \setminus \{i\})$: مقدار تابع مشخصه ائتلاف اصلی بدون بازیکن i است (Poorsepahy-samian & Kerachian, 2011).

روش ورشکستگی[۲]:

مسئله ورشکستگی در سال ۱۹۸۲ توسط اونیل مطرح شد و شامل وضعیتی است که مطالبه یا تقاضای تجمعی بالاتر از میزان موجودی منابع باشد (Curiel et al., 1987). در این روش از قوانین مختلف برای تخصیص در میان مدعیان استفاده می‌شود. قوانین تخصیص قوانینی هستند که ارزش ائتلاف را بین بازیکنان ذینفع به گونه‌ای تقسیم می‌کنند که شروط کارایی $v^{E,d}(C) = \sum_{i \in C} x_i$ و عقلانیت فردی $x_i \geq 0$ تأمین شود. در سال ۲۰۱۳ مفهوم مسئله ورشکستگی توسط هابیس و هرینگس به مسئله ورشکستگی تصادفی تحت عدم قطعیت[۳] توسعه پیدا کرد (Habis, 2013 & Herings). مدل‌های غیرقطعی شامل مدل‌های احتمالاتی[۴]، تصادفی[۵]، فازی[۶]، بازه‌ای[۷] و ترکیبی است. در این بررسی این عدم قطعیت در قالب تحلیل حساسیت نشان داده می‌شود؛ زیرا بر خلاف رویکردهای احتمالاتی و فازی نیازی به تعیین توزیع احتمال یا تابع‌های عضویت ندارد، بدین‌ترتیب میزان تغییر در سهم هر یک از بازیکنان از حوضه‌ی مورد بررسی، در شرایط متغیر

---

[۱] Gatley
[۲] Bankruptcy
[۳] Stochastic Bankruptcy Under Uncertainty
[۴] Probability/Probabilistic
[۵] Stochastic/Randomized
[۶] Fuzzy
[۷] Interval

بودن میزان تقاضا و یا موجودی منبع مشخص می‌شود (Degefu et al., 2017). روش ورشکستگی را می‌توان بر مبنای پنج مرحله زیر تعریف کرد:

مرحله ۱) معرفی بازیکنان: در کاربرد این روش، بازیکنان به صورت استانی در نظر گرفته می‌شوند و حجم آب مورد نیاز آن‌ها از مجموع آب مورد تقاضای بخش‌های کشاورزی، صنعت و محیط زیست هر استان به‌دست می‌آید. زیرا در محاسبات برخی قوانین ورشکستگی لازم است افزون بر نیاز ذینفعان، میزان مشارکت آن‌ها در تأمین آب حوضه نیز در نظر گرفته شود.

مرحله ۲) تعریف سناریو: طی سال‌های گذشته روند افزایش دما و کاهش بارش در این حوضه از یک سو (Modaresi, 2010; Sharifan & Rezaei, 201;. Bazrafshan Daryasari, 2015; Ghorbani et al., 2016; Arezomandi et al., 2017) و مثبت بودن نرخ رشد جمعیت در منطقه‌های ذینفع و افزایش فعالیت‌های آب‌بر از سوی دیگر (Ministry of Energy, 2013) سبب می‌شود حالتی که موجود ذخایر روند کاهشی و نیاز ذینفعان روند افزایشی دارد به شرایط واقعی نزدیک‌تر باشد؛ بر این مبنا ۵ سناریو در نظر گرفته شده است (جدول ۱).

جدول (۱) میزان آب قابل دسترس و ادعای هر بازیکن (میلیون متر مکعب)

Table 1:The Amount of Available Water and Claim of each player (Million Cubic Meters)

سناریوی ۵ Scenario 5		سناریوی ۴ Scenario 4		سناریوی ۳ Scenario 3		سناریوی ۲ Scenario 2		سناریوی ۱ Scenario 1		
نیاز Need	موجودی Reserve	نیاز Need	موجودی Reserve	نیاز Need	موجودی Reserve	نیاز Need	موجودی Reserve	نیاز Need	موجودی Reserve	بازیکنان Players
بیشینه Maximum	کمینه Minimum	٪۴۰ افزایش %40 Increase	٪۴۰ کاهش %40 Reduction	٪۳۰ افزایش %30 Increase	٪۳۰ کاهش %30 Reduction	٪۲۰ افزایش %20 Increase	٪۲۰ کاهش %20 Reduction	٪۱۰ افزایش %10 Increase	٪۱۰ کاهش %10 Reduction	
4776	1750	4410	1910	4095	2228	3780	2546	3465	2865	گلستان Golestam
37	50	24	136	22	159	20	182	19	204	سمنان Semnan
49	200	39	227	36	265	34	303	31	341	خراسان شمالی Khorasan Shomali
4862	2000	4473	2273	4154	2652	3834	3031	3515	3410	کل حوضه Basin

منبع: وزارت نیرو، ۱۳۹۴ Source: Research findings

لازم به یادآوری است سناریوی (۱) تا (۴) بر مبنای کاهش ۱۰ الی ۴۰ درصدی در حجم آب حوضه نسبت به موجودی کنونی و به‌طور همزمان افزایش ۱۰ الی ۴۰ درصدی نیاز ذینفعان در نظر گرفته شده است. هم‌چنین سناریوی (۵) در جدول (۲) بر مبنای کمینه موجودی حوضه طی ۴۰ سال اخیر و بیشینه نیاز ذینفعان طی دوره مذکور لحاظ شده است.

مرحله ۳) در این مرحله قوانین مختلف ورشکستگی در سناریوهای مختلف بررسی و سهم هر استان از آب حوضه‌ی مورد بررسی تعیین می‌شود. قوانین مورد استفاده در این بررسی در جدول (۲) ارائه شده است:

جدول (۲) انواع قانون‌های ورشکستگی

Table2:Types of Bankruptcy Rules

قانون ورشکستگی Bankruptcy Rules	رابطه‌ی ریاضی mathematical formula
نسبی (PRO یا P) Proportional	$X_i = \lambda c_i, C = \sum_{i=1}^{n} c_i \, , \lambda = \frac{E}{C}$
نسبی تعدیل‌شده (AP) Adjusted Proportional	$v_i = Max\left\{o, E - \sum_{j \neq i} c_j\right\}$ $X_i = v_i + (c_i - v_i)(\sum_{j \in N}(c_j - v_j))^{-1}(E - \sum_{j \in N} v_j)$
قانون مقید به سود یکسان (CEA) Constrained Equal Awards	$X_i = Min(\lambda, c_i), \sum_{i \in N} Min(\lambda, c_i) = E$
قانون مقید به زیان یکسان (CEL) Constrained Equal Loss	$X_i = Max(0, c_i - \lambda), \sum_{i \in N} Max(0, c_i - \lambda) = E$
قانون پینایل (Pin) Penile	$x_i \equiv CEA(\frac{c_i}{2}, E) \;\; if \;\; \frac{1}{2}C \geq E$ $x_i \equiv \frac{c_i}{2} + CEA(\frac{c_i}{2}, E - \frac{C}{2}) \;\; if \;\; \frac{1}{2}C \leq E$
تالمود (Tal) Talmud	$x_i \equiv CEA(\frac{c_i}{2}, E) \;\; if \;\; \frac{1}{2}C \geq E$ $x_i \equiv \frac{c_i}{2} + CEL(\frac{c_i}{2}, E - \frac{C}{2}) \;\; if \;\; \frac{1}{2}C \leq E$
قاعده کسری کل (TD) Total Deficit	$d_i = \frac{\left(\frac{c_i}{\sum_{i=1}^{n} c_i} + 1 - \frac{a_i}{\sum_{i=1}^{n} a_i}\right)}{n} * D \quad , \quad d_i \leq c_i$ $x_i = c_i - d_i \, , 0 \leq x_i$

منبع: Nafarzadegan et al., 2017؛ E: کل موجودی، C: مجموع کل نیازهای ذینفعان، x_i: سهم هر مدعی، λ: ضریب تخصیص و c_i: میزان نیاز هر ذینفع می‌باشد.

Source: Research findings

قانون‌های جدول (۲) در شرایط عدم قطعیت و با اعمال سناریوهای مختلف تحت عنوان SP[1]، SAP[2]، SCEA[3]، SCEL[4]، SPin[5]، STal[6] و STD[7] شناخته می‌شوند (Degefu et al., 2017).

مرحله ۴) انتخاب قانون برتر بر مبنای شاخص اکثریت آرا[8]: بر مبنای این شاخص، هر بازیکن به قانونی که سهم بیشتری را به آن اختصاص دهد امتیاز یک و به دیگر قوانین امتیاز صفر می‌دهد. در پایان قانونی انتخاب می‌شود که بیشترین امتیاز را داشته باشد (Zarezadeh-Mehrizi, 2009).

مرحله ۵) بررسی پایداری همکاری با استفاده از شاخص پایداری[9]: شاخص قدرت (a_i) در مسئله‌های ورشکستگی را می‌توان بر مبنای رابطه (۵) بررسی کرد. به‌طوری‌که مقادیر کوچک‌تر این شاخص نماد برتری بوده و مطلوب می‌باشد. حال اگر انحراف معیار مقادیر a (σ_a) بر میانگین این ضریب‌ها ($\bar{a}$) تقسیم شود شاخص پایداری (S_a) محاسبه می‌شود (رابطه ۵). مقادیر کمتر این شاخص نشان دهنده‌ی پایداری بیشتر روش است (Zarezadeh-Mehrizi, 2009).

$$a_i = \frac{c_i - x_i}{\sum_{j \in N}(c_j - x_j)}, i \in N \sum_{i \in N} a_i = 1, \quad S_a = \frac{\sigma_a}{\bar{a}} \qquad (۵)$$

که در آن c_i نیاز بازیکن i، x_i حجم آب اختصاص داده شده به بازیکن i است.

نتایج و بحث

جدول (۳) مقادیر تابع مشخصه را به ازای ائتلاف‌های مورد بررسی نشان می‌دهد.

جدول (۳) مقادیر تابع مشخصه به ازای هر ائتلاف (میلیارد ریال)

Table(3) The Characteristic Function for each Coalition (Billion Rials)

شماره ائتلاف Coalition Number	مقدار تابع مشخصه Characteristic Function Value	شماره ائتلاف Coalition Number	مقدار تابع مشخصه Characteristic Function Value
1	12037730	8	23629140
2	11717050	9	154983
3	168	10	609511
4	154981	11	12631040
5	2	12	173
6	609508	13	24211790
7	3		

منبع: یافته‌های تحقیق Source: Research findings

[1] Sensitivity analysis of Proportional rule
[2] Sensitivity analysis of Adjusted Proportional rule
[3] Sensitivity analysis of Constrained Equal Awards rule
[4] Sensitivity analysis of Constrained Equal Loss rule
[5] Sensitivity analysis of Penile rule
[6] Sensitivity analysis of Talmud rule
[7] Sensitivity analysis of Total Deficit rule
[8] Plurality Index
[9] Stability Index

همان‌طور که جدول (۳) نشان می‌دهد مقدار تابع مشخصه با تبدیل ائتلاف‌های منفرد به ائتلاف اصلی افزایش می‌یابد که این امر نشان دهنده‌ی اهمیت همکاری بازیکنان با یکدیگر در افزایش سود کل سیستم است. پس از مشخص شدن ائتلاف اصلی به‌عنوان بهترین حالت همکاری، شروط هسته بررسی می‌شود. مشکل روش هسته این است که در برخی موارد هسته بازی تهی است و در برخی موارد هسته بازی دارای بی‌نهایت تخصیص عقلایی است. بر مبنای رابطه (۲) و نتایج جدول (۳) شرط عقلانیت جمعی برقرار نمی‌باشد که این مسئله منجر به متلاشی شدن ائتلاف خواهد شد. بدین منظور لازم است بازیکن برهم زننده‌ی ائتلاف شناسایی شود. بر این مبنا به بازتوزیع سود ناشی از ائتلاف بین بازیکنان پرداخته می‌شود (جدول ۴).

جدول (۴) میزان ارزش شاپلی بازیکنان در ائتلاف برتر (میلیارد ریال)

Table 4: The Shapely Value of Players in the Grand Coalition (Billion Rials)

مقدار ارزش شاپلی The Shapely Value	ارزش ائتلاف برتر بدون حضور بازیکن i The value of grand coalition with out player i	ارزش ائتلاف تکی The value of a single coalition	بازیکنان Players
11900349	12481740	12037730	بخش کشاورزی استان گلستان Agricultural Sector in Golestan
11809833	12570960	11717050	بخش صنعت استان گلستان Industry Sector in Golestan
-63286	24275170	168	بخش محیط زیست استان گلستان Invironmental Sector in Golestan
70255	24142540	154981	بخش کشاورزی استان سمنان Agricultural Sector in Semnan
-10561	24222200	2	بخش محیط زیست استان سمنان Invironmental Sector in Semnan
518470	23700740	609508	بخش کشاورزی استان خراسان شمالی Agricultural Sector in Khorasan shomali
-13270	24224870	3	بخش محیط زیست استان خراسان شمالی Invironmental Sector in Khorasan shomali

منبع: یافته‌های تحقیق Source: Research findings

جدول (۴) نشان می‌دهد بخش کشاورزی استان گلستان دارای بالاترین قدرت در ائتلاف اصلی است. منفی بودن ارزش شاپلی بخش محیط زیست هر سه استان گویای آن است که در صورتی

که آب اختصاص داده شده به آن‌ها در دیگر بخش‌ها استفاده می‌شد به ظاهر ممکن است منفعت بیشتری از همکاری نصیب استان‌های گلستان، سمنان و خراسان شمالی شود. اما باید این نکته را یادآور شد که اگرچه توسعه‌ی بخش‌های کشاورزی و صنعت در راستای تأمین نیازهای بشر اهمیت دارد؛ لیکن اهمیت محیط زیست بر هیچ‌کس پوشیده نیست و نباید آن را فدای هدف‌های توسعه‌ای و دستیابی به رشد اقتصادی بالاتر کرد. در ادامه می‌توان پایداری این همکاری را بررسی کرد. بدین منظور شاخص گاتلی با توجه به رابطه (۴) محاسبه می‌شود (جدول ۵)

جدول (۵) مقدار شاخص گاتلی برای بازیکنان در ائتلاف برتر

Table5 The Gatley Value of Players in the Grand Coalition

بازیکنان Players	شاخص گاتلی The Gatley Value	بازیکنان Players	شاخص گاتلی The Gatley Value
بخش کشاورزی استان گلستان Agricultural Sector in Golestan	1/24	بخش محیط زیست استان سمنان Invironmental Sector in Semnan	-0/01
بخش صنعت استان گلستان Industry Sector in Golestan	-1/82	بخش کشاورزی استان خراسان شمالی Agricultural Sector in Khorasan	0/08
بخش محیط زیست استان گلستان Invironmental Sector in Golestan	-0/01	بخش محیط زیست استان خراسان شمالی Invironmental Sector in Khorasan	-0/01
بخش کشاورزی استان سمنان Agricultural Sector in Semnan	0/01		

منبع: یافته‌های تحقیق Source: Research findings

بر مبنای جدول (۵) بیشترین مقدار شاخص گاتلی مربوط به بخش کشاورزی استان گلستان است که نشان دهنده‌ی سهم زیاد این بازیکن در بالا بردن منفعت کل سیستم می‌باشد و در صورت ترک ائتلاف توسط آن، دیگر بازیکنان شاهد کاهش چشم‌گیری در میزان منفعت ناشی از همکاری خواهند بود. همچنین برای بازیکنانی که شاخص گاتلی کوچک‌تر از یک دارند، این مفهوم را نشان می‌دهد که میزان زیان وارد شده به بازیکن به سبب ترک ائتلاف کل، بیشتر از میزان زیانی است که به دیگر بازیکنان ائتلاف وارد می‌شود. بدین ترتیب مشخص می‌شود که ائتلاف اصلی در صورت جلب رضایت بخش کشاورزی استان گلستان می‌تواند بهترین ائتلاف ممکن باشد. در ادامه قوانین مختلف ورشکستگی با به‌کارگیری سناریوهای مورد نظر بررسی شد. در جدول (۶) درصد نیاز تأمین شده به ازای هر قانون طی سناریوهای مختلف ارائه شده است.

جدول (۶) سهم تأمین شده از نیاز استان‌های ذینفع با اعمال قانون‌های مختلف ورشکستگی (درصد)

Table6:The Share of Stakeholder's Supplied Need Under Different Ruls (%)

خراسان شمالی Khorasan	سمنان Semnan	گلستان Golestan	قانون Rule	سناریو Scenario	خراسان شمالی Khorasan	سمنان Semnan	گلستان Golestan	قانون Rule	سناریو Scenario
51/3	50	50/8	SP	سناریوی ۴ Scenario 4	96/8	94/7	97	SP	سناریوی ۱ Scenario 1
2/8	2/8	51/5	SAP		40	37	97/9	SAP	
100	100	50/1	SCEA		100	100	97	SCEA	
0	0	51/5	SCEL		0	0	98.4	SCEL	
100	100	50/1	Spin		100	100	97	Spin	
50	50	50/8	STal		50	50	97/7	STal	
0	0	51/5	STD		0	0	98/4	STD	
40/8	40/5	41/1	SP	سناریوی ۵ Scenario 5	79/4	80	79/1	SP	سناریوی ۲ Scenario 2
3	2/9	41/8	SAP		6/6	6/5	80/1	SAP	
100	100	40/1	SCEA		100	100	78/8	SCEA	
0	0	41/9	SCEL		0	0	80/2	SCEL	
100	100	40/1	Spin		100	100	78/8	Spin	
50	50	41	STal		50	50	79/5	STal	
0	0	41/9	STD		0	0	80/2	STD	
					63/9	63/6	63/9	SP	سناریوی ۳ Scenario 3
					3/8	3/8	64/7	SAP	
					100	100	63/3	SCEA	
					0	0	64/8	SCEL	
					100	100	63/3	Spin	
					50	50	64/1	STal	
					0	0	64/8	STD	

Source: Research findings

منبع: یافته‌های تحقیق

بر مبنای جدول (۶) می‌توان نتیجه گرفت که از دید استان گلستان دو قانون مقید به زیان یکسان و قاعده کسری کل می‌تواند بهترین باشد؛ زیرا سهم بیشتری از نیازهای این استان را تأمین می‌کند. در حالی‌که برای دو استان سمنان و خراسان شمالی دو قانون مقید به سود یکسان و پینایل مورد قبول است. با توجه به اینکه از بین ۳ بازیکن، دو بازیکن روش SCEA و SPin را انتخاب کردند، بنابراین بر مبنای شاخص اکثریت آرا این دو قانون می‌توانند برای تخصیص آب حوضه‌ی گرگانرود- قره‌سو به کار برده شود. با این حال لازم است شاخص پایداری نیز محاسبه شود؛ تا با تعیین میزان نارضایتی بازیکنان از وضعیت تخصیص، احتمال برهم خوردن بازی بررسی شود. در ادامه جدول (۷) شاخص پایداری را به ازای قوانین مختلف نشان می‌دهد.

جدول(۷)شاخص پایداری در رفتار با اعمال قانون‌های مختلف ورشکستگی

Table7 :Stability Index in Behavior under Different Bankruptcy Rules

سناریو Scenario	سناریوی ۱ Scenario 1	سناریوی ۲ Scenario 2	سناریوی ۳ Scenario 3	سناریوی ۴ Scenario 4	سناریوی ۵ Scenario 5
SP	1/68	1/7	1/7	1/7	1/69
SAP	0/98	1/57	1/64	1/66	1/66
SCEA	1/73	1/73	1/73	1/73	1/73
SCEL	0/52	1/56	1/63	1/66	1/65
Spin	1/73	1/73	1/73	1/73	1/73
STal	1/12	1/64	1/68	1/69	1/69
STD	0/52	1/56	1/63	1/66	1/65

منبع: یافته‌های تحقیق Source: Research findings

جدول (۷) نشان می‌دهد که قانون کسری کل و مقید به زیان یکسان با داشتن کمترین مقدار به‌عنوان پایداری‌ترین روش تخصیص می‌باشند و بر مبنای آن‌ها احتمال برهم خوردن بازی توسط بازیکنان کمتر است. پس از آن‌ها قانون SAP به‌عنوان پایدارترین روش قرار دارد.

بر مبنای شاخص اکثریت آرا قانون SCEA (SPin) از سوی سمنان و خراسان شمالی مورد قبول واقع شدند. حال آنکه استان گلستان با داشتن مشارکت بالا در حوضه دارای قدرت بیشتری نسبت به دو استان دیگر بوده و ممکن است در شرایط رخداد ورشکستگی نظرات خود را بر دو استان دیگر تحمیل کند و بر مبنای شاخص پایداری، تخصیص بر مبنای دو روش STD و SCEL پایدار است؛ با این حال در این دو روش سهم استان‌های سمنان و خراسان شمالی از آب حوضه صفر (تنها در حد رفع نیاز آب آشامیدنی) خواهد بود که عادلانه نیست؛ باید توجه داشت آب جزء نعمت‌های خدادادی است و نمی‌توان افراد به‌ویژه محیط زیست را از کمترین نیاز خود محروم ساخت.

به همین منظور قانون SAP به‌عنوان قانون برتر ورشکستگی انتخاب شد؛ زیرا ۱- پس از قانون SCEL (STD) دارای پایداری بیشتری است. ۲- در شرایط رخداد ورشکستگی کمترین نیاز نسبی هر سه استان را مد نظر قرار می‌دهد. ۳- همانند روش هسته به همکاری همه‌ی ذینفعان باور دارد. ۴- در این قانون به اطلاعات مربوط به میزان مشارکت هر بازیکن نیاز نمی‌باشد و بدین ترتیب امکان تعیین سهم هر بخش وجود دارد. ۵- با مشخص بودن سهم هر بخش می‌توان منفعت خالص را محاسبه کرد.

حال به‌منظور ادغام ائتلاف شماره (۱۳) و قانون SAP، ابتدا قانون SAP بار دیگر و این بار برای بازیکنان به تفکیک بخش اجرا شد. جدول (۱۰) سهم هر یک از بخش‌های ذینفع را تحت قانون SAP نمایش می‌دهد.

جدول (۱۰) سهم هر بخش با اعمال قانون SAP (میلیون متر مکعب)

Table10 :The Share of each Sector Under SAP Rule (Million Cubic Meters)

بازیکنان Players	گلستان Golestan			سمنان Semnan		خراسان شمالی Khorasan Shomali	
	کشاورزی Agriculture	صنعت Industry	محیط زیست Invironment	کشاورزی Agriculture	محیط زیست Invironment	کشاورزی Agriculture	محیط زیست Invironment
سناریوی ۱ Scenario 1	3370/86	4/6	9/7	8/6	0/48	14/8	0/96
سناریوی ۲ Scenario 2	3022/35	1/1	2/2	1/9	0/12	3/1	0/23
سناریوی ۳ Scenario 3	2646/47	0/7	1/4	1/2	0/08	2	0/15
سناریوی ۴ Scenario 4	2268/63	0/57	1/1	1	0/06	1/6	0/04
سناریوی ۵ Scenario 5	1994/55	0/6	1/2	1/5	0/08	1/9	0/17

Source: Research findings منبع: یافته‌های تحقیق

نتایج جدول (۱۰) نشان می‌دهد در صورت رخداد ورشکستگی، درصد نیاز تأمین شده‌ی همه‌ی بخش‌ها کاهش می‌یابد. با این‌حال بخش کشاورزی گلستان در همه‌ی سناریوها در اولویت نخست بیشترین تخصیص قرار دارد. حال با در نظر گرفتن تابع هدف ائتلاف برتر (شماره ۱۳) و محدودیت‌های قانون برتر (قانون SAP) به برآورد منفعت خالص ناشی از همکاری در شرایط ورشکستگی می‌پردازیم. رابطه (۶) ادغام دو روش بالا را با اعمال سناریوی نخست نمایش می‌دهد.

$$\begin{aligned}\text{MAX Z} = {} & 318489.83Q_{G,AGR} - 0.0000002Q_{G,AGR}^2 + 53260177Q_{G,IND} - 0.00004Q_{G.IND}^2 \\ & + 102Q_{G,INV} + 620425Q_{S,AGR} - 0.00002Q_{S,AGR}^2 + 14Q_{S,INV} \\ & + 2102042.03Q_{KH,AGR} - 0.00001Q_{KH,AGR}^2 + 15.7Q_{KH,INV}\end{aligned}$$

$$Q_{G,AGR} = 3370860000$$
$$Q_{G,IND} = 4600000$$
$$Q_{G,INV} = 9700000$$
$$Q_{S,AGR} = 8600000$$
$$Q_{S,INV} = 480000$$
$$Q_{KH,AGR} = 14800000$$
$$Q_{KH,INV} = 9600000$$

$$Q_{G,AGR}+Q_{G,IND}+Q_{G,INV}+Q_{S,AGR}+Q_{S,INV}+Q_{KH,AGR}+Q_{KH,INV} \leq 3410000000 \qquad (۶)$$

با برآورد رابطه‌ی (۶) میزان منفعت خالص برابر با ۱۳،۵۳۲،۸۳۰ میلیارد ریال به‌دست می‌آید. به همین ترتیب میزان منفعت خالص در شرایط ورشکستگی با به‌کارگیری سناریوی دیگر محاسبه و در جدول (۱۱) نمایش داده شده است.

جدول (۱۱) مقادیر تابع مشخصه با اعمال قانون SAP در سناریوهای مختلف (میلیارد ریال)

Table 11: The Characteristic Function Under SAP Rule (Billion Rials)

سناریوی ۱ Scenario 1	سناریوی ۲ Scenario 2	سناریوی ۳ Scenario 3	سناریوی ۴ Scenario 4	سناریوی ۵ Scenario 5
13532830	10274690	8840312	7560889	6715149

منبع: یافته‌های تحقیق Source: Research findings

همان‌طور که جدول (۱۱) نشان می‌دهد درصورتی‌که روند افزایش مصرف و کاهش بارش (افزایش دما) بر مبنای با سناریوهای تعریف شده ادامه یابد، میزان منفعت خالص حوضه در آینده‌ای نه‌چندان دور (سناریوی یک) نسبت به شرایط کنونی (۱۵،۳۶۶،۵۵۲ میلیارد ریال) ۱۰۲ درصد کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این بررسی بر مبنای آمار مربوط به سال ۱۳۹۴ انجام گرفته است؛ بنابراین نتایج به‌دست آمده از آن در عمل نمی‌تواند به‌منظور تخصیص آب بین ذینفعان در شرایط کنونی به‌کار برده شود. لیکن نتایج این بررسی به ارائه یک مدل برای بهینه‌سازی مصرف آب حوضه‌های مشترک می‌پردازد. به‌طوری‌که بر مبنای روش هسته، ائتلاف اصلی با هفت بازیکن شامل بخش‌های کشاورزی، صنعت و محیط زیست استان گلستان، بخش‌های کشاورزی و محیط زیست استان سمنان و بخش‌های کشاورزی و محیط زیست استان خراسان شمالی به‌عنوان ائتلاف برتر با منفعت خالص ۲۴،۲۱۱،۷۹۰ میلیارد ریال انتخاب شد. لازم به یادآوری است در برخی بررسی‌های پیشین نیز ائتلاف اصلی به‌عنوان ائتلاف برتر شناخته شده است (Poorsepahy-samian & Kerachian, 2011; Danesh-Yazdi et al.,201; Omidvar et al., 2016; Ghandhary et al., 2016; Bani Habib & Najafi Morghmaleki, 2018).

نتایج این بخش گویای آن است منفعت ایجاد شده در حالت تشکیل ائتلاف بین استانداران استان‌های گلستان، سمنان و خراسان شمالی به‌منظور تخصیص بهینه‌ی منابع آبی حوضه آبریز گرگانرود- قره‌سو، نسبت به حالت غیرهمکارانه ۵۷/۶ درصد بیشتر است. همچنین منفعت ایجاد شده در حالت تشکیل ائتلاف بین وزارتخانه‌ها و سازمان‌های ذی‌ربط به‌منظور تخصیص بهینه‌ی آب بین بخش‌های مختلف مصرفی شامل کشاورزی، صنعت و محیط‌زیستی نسبت به حالت غیرهمکارانه، در مورد بخش‌های کشاورزی و صنعت به ترتیب ۱۹/۶ و ۱۴۱۴/۴ درصد بیشتر و در مورد بخش محیط‌زیست ۶۹/۳ درصد کمتر است. بنابراین حضور دولت به‌عنوان شخص ثالث برای نظارت بر توزیع عادلانه‌ی آب بین کاربری‌های مختلف پیشنهاد می‌شود. همچنین سامانه‌ی

اطلاعات جامع برای پایش حوضه‌ی مورد بررسی ایجاد و اطلاعات دقیقی در اختیار سه استان گلستان، سمنان و خراسان شمالی قرار داده و در مورد برتری‌های همکاری اطلاع‌رسانی شود. افزون بر این توافق‌نامه‌ای سه جانبه جهت تقسیم عادلانه‌ی آب این حوضه تنظیم شود تا این اطمینان را حاصل کند که تخصیص آب به نفع هر یک از ذینفعان می‌باشد. پس از تعیین سهم بخش کشاورزی سه استان ذینفع از آب حوضه‌ی مورد بررسی، توصیه می‌شود این همکاری بین وزرا یا رؤسای سازمان‌های آب منطقه‌ای و جهاد کشاورزی ادامه یابد تا الگوی کشت متناسب با شرایط هر منطقه و میزان آب در دسترس تعیین شود.

نتایج این بررسی آب بیشتری را در اختیار بخش کشاورزی قرار می‌دهد. علل عمده‌ی فرسایش خاک مربوط به بخش کشاورزی است. آب اختصاص یافته به بخش در مدل همکارانه به ۳۷۴۶ میلیون متر مکعب افزایش می‌یابد که بر افزایش ۱۸/۲درصدی فرسایش دلالت دارد. با توجه به اینکه فرسایش سبب کاهش حاصل‌خیزی خاک و به دنبال آن کاهش بهره‌وری زمین و تولیدات کشاورزی و افزایش مصرف کودهای شیمیایی می‌شود؛ برنامه‌ریزی برای حفاظت خاک پیشنهاد می‌شود. همچنین هدایت صحیح آب‌های برگشتی از بخش کشاورزی نیز در این زمینه می‌تواند راه‌گشا باشد.

همچنین نتایج روش ورشکستگی نشان می‌دهد، قوانین مورد پذیرش از سوی استان‌های ذینفع متفاوت است. این در حالی است که هر یک از این قوانین حالت جانب‌دارانه داشته و تنها یکی از بازیکنان را اولویت تخصیص قرار می‌دهد. بر این اساس ضرورت دارد در تنظیم توافق‌نامه‌ی سه جانبه برای تخصیص بهینه‌ی آب این حوضه برآیندی از قوانین ورشکستگی (مانند قانون SAP) لحاظ شود. لازم به یادآوری است در برخی از بررسی‌های پیشین قانون CEA (Zarezadeh-Mehrizi, 2009)، قانون PRO (Mianabadi & Mianabadi, 2013; Mirshafee et al., 2015)، قانون TD (Rahbar, 2017) و قانون AP (Nafarzadegan et al., 2017) به‌عنوان قانون برتر انتخاب شده‌اند.

همچنین بر مبنای سناریوی (۱) یعنی کاهش ده درصدی در موجودی ذخایر و افزایش ده درصدی در میزان نیاز ذینفعان، منفعت خالص به رقم ۱۳،۵۳۲،۸۳۰ میلیارد ریال کاهش می‌یابد. این میزان در وضعیت کنونی برابر با ۱۵،۳۶۶،۵۵۲ میلیارد ریال و در حالت ائتلاف برتر برابر با ۲۴،۲۱۱،۷۹۰ میلیارد ریال می‌باشد؛ بنابراین استفاده‌ی بهینه از منابع آبی برای تأمین معیشت

ساکنان اطراف حوضه دارای اهمیت است و انتخاب یک شغل جانبی جهت کاهش فشارهای وارده بر منابع آبی و کاهش فرسایش خاک بر کشاورزان منطقه پیشنهاد می‌شود.

منابع

Abdoli, GH. (2011). Game theory and its applications (static and dynamic games with full information). First Edition. Academic Jihad Publications. Tehran. (In Farsi)

Ambec, S. and Ehlers, L. (2007). Sharing a river among satiable countries. Working Paper. GAEL and University de Montréal.

Arezomandi, L., Hejarizadeh, Z. and Fattahi, A. (2017). Comparison of the performance of statistical model and dynamic model in simulation of limit precipitation. *Journal of Ecohydrology*. 4(2): 301-313. (In Farsi)

BaniHabib, M. & Morghmaleki, S. (2018). Assessment of Game and Bankruptcy Theories to Supply Environmental Water of Hawizeh Wetland. *Iran-Water Resources Research. 14(2): 12-22*. (In Farsi)

Bazrafshan Daryasari, M., Meftah Halghi,. M., Ghorbani, Kh., and Ghahraman, N. (2015). Comparative study of climatic regions of Golestan province under different climate change scenarios. *Journal of Water and Soil Conservation. 22:(5):187-202*. (In Farsi)

Daneshi, A.R., Vafakhah, M. and Panahi, M. (2015). Economic assessment of change in cropping pattern in siminehrud sub-basin to improve agricultural water management: An effort to restore Urmia lake using PES scheme. *Iran Water Resources Research. 11(3): 57-68*. (In Farsi)

Danesh-Yazdi, M., Abrishamchi, A. and Tajrishi, M. (2014). Conflict resolution of water resources allocations using game theoretic approach: the case of Orumieh river basin in Iran. *journal of water and wastewater. 2: 48-57*. (In Farsi)

Degefu, D.M., He, W. and Zhao, J.H. (2017). Transboundary water allocation under water scarce and uncertain conditions: a stochastic bankruptcy approach. Water Policy. 19: 479–495.

De Stefano, L., Duncan, J., Dinar, S.K., Stahl, K., Strzepek, A. and Wolf, T. (2012). Climate Change and the Institutional Resilience of International River Basins. *Journal of Peace Research. 49 (1): 193– 209.*

Dinar, A. and Nigatu, G.S. (2013). Distributional considerations of international water resources under externality: The case of Ethiopia, Sudan and Egypt on the Blue Nile. Water Resources and Economics. 2-3: 1–16.

Ghandhary, A., Alavi Moghadam, S.M.R. & Omranian Khorasani, H. (2016). Predicting the Necessity of Cooperation Between The Harirud Basin Countries Based on Game Teory: The Shapely Value Approach. *Journal of Water and Sustainable Developmen. 3(1): 115-121*. (In Farsi)

Ghorbani, KH., Bazrafshan Daryasari, M., Meftah Halghi,. M., and Ghahraman, N. (2016). Impact of Climate Change on the Climatic Zoning of Golestan Province by Extended Demartan Method. *Journal of Water and Soil Conservation*. *47(2): 319-322*. (In Farsi)

Habis, H. and Herings, P. (2013). Stochastic bankruptcy games. *International Journal of Game Theory*. *42(4): 973–988.*

Hipel, K.W. and Walker, S. (2012). Brownfield redevelopment. In The Berkshire Encyclopedia of Sustainability. vol. 5 of 10 on Ecosystem management and sustainability. Craig RK, Pardy B, Nagle JC, Schmitz O, Smith W (eds). Berkshire Publishing: Barrington, MA, USA. 44–48.

Just, R., and Netanyahu, S. (1998). International water resource conflicts: Experience and potential. Just, R., and Netanyahu, S. (Eds.) Conflict and cooperation on trans-boundary water resources. Kluwer Academic Pub. 1-26.

Madani, K. and Zarezadeh, M. (2012). Bankruptcy methods for resolving water resources conflicts. In: Loucks. D.P. (Ed.). World Environmental and Water Resources Congress. American Society of Civil Engineers. Reston. VA. 2247-2252.

Mazandarani Zadeh, H., Ghaheri, A. and Abdoli, GH. (2009). A model of sustainable groundwater aquifer shared between urban and agricultural users by applying game theory. *Journal of Agricultural Economic and Development. 7(68): 77-102.* (In Farsi)

Mianabadi, A. and Mianabadi, H. (2013). Application of bankruptcy theory in redistribution of common water resources (Case study: Lake Urmia). 5th Iranian Water Resources Management Conference. Iranian Association of Water Resources Science and Engineering. Shahid Beheshti University. Tehran (In Farsi)

Mianabadi, H., Mostert, E., Zarghami, M. and Van De Giesa, N. (2014a). A new bankruptcy method for conflict resolution in water resource allocation. *Journal of Environmental Management. 144(1): 152–159.*

Mirshafee, S., Ansari, H. and Mianabadi, H. (2015). Bankruptcy methods in transboundary rivers allocation problems case study: (Atrak river). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 9(4): 594-604*. (In Farsi)

Ministry of Energy. Department of Water and Wine. (2013). Studies on the Modernization of the Comprehensive Plan Water of the Country in the Aras, Urmia, Talesh-Bandar Anzali Wetland, Big Sefidrud, Sefidrud-Haraz, Haraz-Gharesu, Gorganrud and Atrak basins. Volumes 38-47. (In Farsi)

Modaresi, F., Araghinejad, SH., Ebrahimi, K. and Kholghi, M. (2010). Assessment of Climate Change Effects Statistical Tests Case Study: Gorganroud-Gharaso Basin. Journal of Water and Soil. 24(3): 476-489. (In Farsi)

Mostert, E. (2003). Conflict and co-operation in international freshwater management: a global review, *International Journal of River Basin Management. 1 (3): 267-278.*

Musavi, S.H., Bakhsoodeh, M. and Ajdari, S. (2012). A welfare analysis of the governmrnt in tervention in the wheat market and its influence on the barley market in Iran, Using a game theoric approach. *Journal of Economics and Agriculture development. 26(2): 106-116*. (In Farsi)

Nafarzadegan, A.R., Vagharfard , H., Nikoo, M.R. and Nohegar, A. (2017). Application of Interactive Interval Linear Programming for Optimal Water and Crop Area Allocation Considering Virtual Water Content and Socio-economic Factors (Case study Dorudzan and Korbal). *Journal of Ecohydrology. 4(2): 601-613*. (In Farsi)

Niksokhan, M.H., Kerachian, R. and Karamouz, M. (2009). A game theoretic approach for trading discharge Permits in Rivers. J. Water Sci. Tech. 60(3): 793-804.

Omidvar, M. Honar, T., Nikoo, M.R., Sepaskhah, AR. (2016). Developing a Fuzzy Crop Pattern and Water Allocation Optimization Model Based on Cooperative Game Theory: A Case Study, Ordibehesht Canal at the Doroodzan Irrigation Network, Northwest of Fars Province in Iran. JWSS. 20(76) :1-13. (In Farsi)

Philpot, S.L., Peter, A., Johnson, K. and Hipel, W. (2017). Analysis of a brownfield management conflict in Canada in Hydrological Research Letters. 11(3):141-148.

Poorsepahy-samian, H. and Kerachian, R. (2011). Water Allocation in Common Rivers: Application of Game Theory. 6th National Congress of Civil Engineering. Semnan University. Iran. (In Farsi)

Pourzand, F and Zibaei, M. (2011). Application of game theory for the optimal groundwater extraction in Firozabad plain. *Journal of Agricultural Economics. 5(4): 1-24*. (In Farsi)

Rahbar, R. (2017). Optimum Water Allocation in Transboundary Rivers Based on Bankruptcy Approach, Case Study: Aras-Kura Basin. The thesis of M.Sc. Department of Water Resources Engineering. University of Tabriz. (In Farsi)

Roozbahani, R., Schreider, S. and Abbasi, B. (2015). Optimal water allocation through a multi-objective compromise between environmental, social, and economic preferences. Environmental Modelling and Software. 64: 18-30.

Salehi, F., Daneshvar Kakhaki, M., Shahnoushi, N., and rajabi, M. (2010). Application of game theory in determination of optimal groundwa extraction in Taybad plain. *Journal of Agricultural Economics. 4(3): 65-89*. (In Farsi)

Sharifan, H. and Rezaei, H. (2013). Investigation of wet and drought periods in Gorganroud basin. First National Conference on Water Resources and Agriculture Challenges. Iranian National Irrigation and Drainage Association. Islamic Azad University of Khorasgan Branch. Esfahan (In Farsi)

Swain, A. (2015). Water wars. In: International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences.2nd edn, Vol. 25. Wright. J.D. (ed.). Elsevier, Oxford. 443–447.

Taklif, A. (2013). The feasibility of GECF optimum strategy design for natural gas exports by pipelines and LNG: A game theory approach. The thesis of P.h.D. Allameh Tabatabaei University. Tehran (In Farsi)

Taraghi, M., Montaseri, M., Zarghami, M. and Mianabadi, H. (2017). Coflict Resolutions for Sustainable Water Resource Management; Case Study. *Agricultural Economics. 11(3): 131-160*. (In Farsi)

Yuan, L., He, W., Degefu, D.M., Liao, Z. and Wu, X. (2017). Water Allocation Model in the Lancing Mekong River Basin Based on Bankruptcy Theory and Bargaining Game. World Environmental and Water Resources Congress. 78-92.

Zarezadeh-Mehrizi, M. (2009). Water allocation under climate change in the Qezelozan-Sefidrood Watershed, Using Bankruptcy Approach to Dispute Resolution. The thesis of M.Sc. Department of Water Engineering. Trabiat Modares University. Tehran. (In Farsi)

Safaee, A. Malek Mohammadi, B. (2014). Game theoretic insights for sustainable common poll water resources governance (Case study: Lake Urmia water conflict). Journal of Environmental Studies. 40:1.121-138. (in Farsi)

Zarghami, M. & Safari, N. (2013). Optimum Water Allocation for Agricultural Section of Zarrinehrud River by Non-Symmetric Nash Modeling. *Journal of Agricultural Economic. 7:2.107-125*. (In Farsi)

Agricultural Economics/Volume 13/Issue 4/1398

Integration of Core and Uncertainty Bankruptcy Methods for Optimal Allocation of Gorganrod-Gharahso Basin

Shahrzad Mirkarimi, Hamid Amirnejad, Ramtin Joolaie [1]

Received: 16 Dec.2019 **Accepted:26 Feb.2020**

Extended Abstract

Introduction

Over the past decade, water has become a strategic commodity, so that it has not only economic and social importance, but also has security importance; and it is predicted to become a major factor some conflicts in next years. This highlights the necessity for water resources management.

Materials and Methods

This study deals with water allocation of Gorganrod-Gharahso basin between Golestan, Semnan and North Khorasan provinces and determines the share of each agricultural, industry and environmental sectors based on data of 2015. For this purpose, two methods of Core and Uncertainty Bankruptcy Game are integrated for the first time.

Results and Discussion

The results of core method showed that the grand coalition creates the net profit equal to 24,211,790 billion rials. By applying Shapely value, it became clear that the Agricultural sector of Golestan province had the highest share (49%) of the generated gains in the top coalition. It should be noted that the Gatley method confirmed the stability of the grand coalition, after satisfying Golestan agricultural sector. In the following, the uncertainty Bankruptcy procedure was used by surveying different allocation rules in 5 scenarios. The results of Plurality index and Stability index suggest that the Sensitivity analysis of Adjusted Proportional rule can be a fair option for determining the share of stakeholders.

Suggestions

According to the above contents, integrating the best coalition of Core and SAP law can fairly supply the needs of stakeholder under different scenario and generate more net profit than the current situation.

JEL Classification: C1, C71, Q25, N50

Keywords: Game Theory, Cooperative Game, Uncertainty Conditions, Transboundary Basin Management, Gorganrod-Gharahso Basin.

1 Respectively: Ph.D student, Assistance Professor of Agricultural economics of Sari University and Assistance Professor of Agricultural economics of Gorgan University.
Email: shahrzadmirkarimi@yahoo.com