اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۳۰، شمارهٔ ۱۱۹، پاییز ۱۴۰۱

DOI: 10.30490/AEAD.2022.356039.1381

مقاله پژوهشی

مدیریت منابع آب حوضهٔ آبریز قره‌سو استان گلستان در شرایط خشکسالی و حفظ محیط زیست: کاربرد نظریهٔ بازی همکارانه

فاطمه مزرعه[۱]، حمید امیرنژاد[۲]، علیرضا نیکوئی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۲

چکیده

با توجه به تغییرات اقلیمی و لزوم حفاظت از محیط زیست به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، اتخاذ سازوکاری جدید برای تخصیص عادلانه منابع آب کمیاب و منافع حاصل از آن بین ذی‌نفعان ضروری است. در مطالعهٔ حاضر، برای بررسی مدیریت منابع آب در شرایط خشکسالی و کمیابی آب در حوضهٔ آبریز قره‌سو در استان گلستان، از چارچوب نظریهٔ بازی همکارانه استفاده شد و گردآوری داده‌های مورد نیاز برای طراحی مدل به شیوه پیمایشی و تکمیل پرسشنامه در سال زراعی

۱- دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۲- دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۳- نویسندهٔ مسئول و عضو هیئت علمی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

(a.nikooie@areeo.ac.ir)

۹۷-۱۳۹۶ صورت گرفت. همچنین، برای بررسی تمایل ذی‌نفعان به شرکت در ائتلاف و تعیین میزان پایداری آن، از شاخص قدرت لامان و شاخص پایداری استفاده شد. نتایج نشان داد که با دستیابی به همکاری کامل، منافع کل حوضه افزایش می‌یابد. افزون بر این، بررسی شاخص پایداری نشان داد که در مجموع، در سناریوهای خشکسالی، ائتلاف بزرگ بر اساس نش هارسانی نسبت به ارزش شاپلی نوکلئولوس پایدارتر است. در نتیجه، باید همکاری بین ذی‌نفعان در قالب شوراهای هماهنگی حوضه برای حفاظت از زیست‌بوم و حفظ منافع اقتصادی حوضه در شرایط کمیابی آب افزایش یابد. راه‌حل‌های نظریهٔ بازی همکارانه و شاخص‌های پایداری مورد بررسی در مطالعهٔ حاضر نشان‌دهندهٔ اهمیت ترکیب رفتار راهبردی ذی‌نفعان در طراحی سیاست‌های قابل قبول و پایدار برای کاهش اثرات خشکسالی در حوضه بود. از این‌رو، توصیه می‌شود که از راه‌حل نش هارسانی برای بازتوزیع منافع حاصل از همکاری بین ذی‌نفعان موجود در حوضه استفاده شود؛ به دیگر سخن، شایسته است توزیع منافع بین ذی‌نفعان در حالت همکارانه بر اساس وزن‌های نسبی صورت گیرد که بر مبنای بیشینهٔ تقاضای آب‌بران در حالت عدم همکاری محاسبه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: *نظریهٔ بازی همکارانه، حوضهٔ آبریز قره‌سو، خشکسالی، مدیریت منابع آب.*

طبقه‌بندی JEL : C71, C69, Q22, Q54, N55

مقدمه

در دهه‌های اخیر، محدودیت آب و کاهش کیفیت آن به موضوعی جدی و نگران‌کننده تبدیل شده است. با کمیابی آب، فشار روی منابع آب در سراسر جهان افزایش یافته و در اکثر مناطق خشک و نیمه‌خشک، مشکلات فراوان به‌وجود آورده است. بر اثر بهره‌برداری بیش‌ازحد از منابع آب، حدود ۴۷ درصد از جمعیت جهان از کمبود شدید آب رنج برده (Boretti and Rosa, 2019) و حدود ۸۵ درصد از زیست‌بوم‌های آبی و جریان‌های سطحی جهان تخریب شده و یا در حال تخریب است (WWF, 2020). تالاب‌ها، به‌عنوان غنی‌ترین زیست‌بوم‌های آبی، از منابع مهم زیست‌محیطی به‌شمار می‌روند که خدماتی سودمند برای مردم، ماهی‌ها و حیوانات وحشی ارائه می‌دهند (Royan Consulting Engineers Company of Golestan, 2018). این خدمات معمولاً دارای قیمت بازاری پایین و یا صفر هستند (Brouwer and Hofkes, 2008). پایین بودن قیمت بازاری تالاب‌ها باعث می‌شود تا میزان خسارت وارده به آنها کمتر از میزان واقعی آن برآورد شود (De Laporte, 2007; Mallawaarachchi et al.,

2001). عوامل مختلفی همچون احیای اراضی، بهره‌برداری شدید از منابع، تغییر هیدرولوژی، آلودگی و همچنین، تغییر اقلیم، تالاب‌ها را در تمام قاره‌ها تهدید می‌کنند (Winter, 2000). تغییر اقلیم از طریق تغییر در الگوهای بارش و تبخیر و تعرق، تالاب‌ها را با پدیده سیل و خشکسالی‌های مکرر و شدید مواجه خواهد کرد (Middleton, 2012). بخش کشاورزی، با برداشت بیش از هفتاد درصد از آب‌های شیرین، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در جهان است (Ziaei et al., 2020). کشورهای درحال‌توسعه، علی‌رغم داشتن منابع کمیاب آب، با تقاضای نسبتاً بیشتری برای کشاورزی مواجه‌اند؛ از این‌رو، میزان برداشت آب برای آبیاری در این کشورها بیشتر است، که می‌تواند اثراتی شدیدتر بر تالاب‌ها داشته باشد (Alcamo et al., 2000; 2018). تقاضای اجتماعی نوظهور برای حفاظت از محیط زیست در قالب تأمین حداقل جریان پایدار برای زیست‌بوم‌های وابسته به آب، رقابت برای آب کمیاب در مناطق خشک و نیمه‌خشک را افزایش می‌دهد. از این‌رو، لازم است سیاست‌گذاران به‌منظور حفظ تالاب‌ها در مقابل تقاضای آب آبیاری، از ابزارهای برآورد ارزش اقتصادی استفاده کنند (Qureshi et al., 2010; Ringler and Cai, 2006). در این راستا، بررسی اثرات تعاملات بین برداشت از رودخانه برای کشاورزی و تأمین حداقل آب مورد نیاز تالاب‌ها ضروری است.

تالاب میانکاله، با وسعتی حدود چهارصد کیلومترمربع، حدود ۲۶۰۰ سال پیش در اثر پیشروی و گسترش شرقی تپه‌های ماسه‌ای میانکاله در ایران شکل گرفته و از نظر هیدرولوژیکی تحت تأثیر دریای خزر و حوزه آبریز بالادست (قره‌سو) است (Royan Consulting Engineers Company of Golestan, 2018). حوضه آبریز قره‌سو یکی از حوضه‌های واقع در استان گلستان است که با مساحت حدود ۱۷۶۱۰۰ هکتار، حدود هشت درصد از مساحت این استان را دربرمی‌گیرد. رودخانه قره‌سو از پیوستن چند رودخانه کوچک‌تر به یکدیگر تشکیل شده است، که کردکوی، شصت‌کلاته، زیارت و گرمابدشت مهم‌ترین این رودخانه‌ها به‌شمار می‌روند (Taghavi Kaljahi et al., 2014). این رودخانه‌های کوچک‌تر، پس از پیوستن به یکدیگر، به شکل رودخانه قره‌سو در مجاورت روستای قره‌سو به تالاب میانکاله جریان می‌یابد.

آب مورد نیاز تالاب میانکاله از منابع گوناگون همچون نزولات جوی، آب‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی و نوسان‌های دریای خزر تأمین می‌شود. همچنین، رودخانه قره‌سو و رودخانه غازمحله در غرب گلستان دو سامانهٔ رودخانه‌ای تغذیه‌کنندهٔ تالاب میانکاله به‌شمار می‌روند. این تالاب به‌عنوان زیست‌بومی کم‌نظیر در سطح جهانی، با توجه به تنوع زیست‌بومی بالا و منابع زیست‌شناختی مختلف، زیستگاهی بسیار مناسب و باارزش برای حیوانات کم‌نظیر و گونه‌های مختلف پرندگان مهاجر آبزی است (Royan Consulting Engineers Company of Golestan, 2018). ایجاد محیط مناسب برای پرورش طیور، تعلیف دام، تغذیه انسان، انواع گیاهان دارویی، ایجاد فضای سبز، تهیه حصیر، چوب و سوخت و نیز ایجاد اشتغال برای افراد بومی منطقه از دیگر ارزش‌های اقتصادی تالاب میانکاله محسوب می‌شود (Amirnejad et al., 2010). در سال‌های اخیر، به‌دلیل کاهش سطح آب دریا و مسدود شدن کانال‌های ارتباطی خلیج گرگان با دریای خزر ناشی از افزایش رژیم رسوب‌گذاری، سطح آب خلیج تا ۸۵ سانتی‌متر و وسعت آن تا ده هزار هکتار کاهش یافته است (Royan Consulting Engineers Company of Golestan, 2019). بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی هواشناسی بر اساس شاخص بارش استاندارد[1] نشان می‌دهد که طی دو دهه اخیر، استان گلستان به‌ویژه حوضه آبریز قره‌سو واقع در قسمت جنوب غربی استان دچار خشکسالی نسبتاً شدید بوده است (Jahani, 2009; Mosaedi et al., 2008). از طرف دیگر، جریان آب موجود در این حوضه ۵۲ درصد از نیاز آبی تالاب میانکاله را تأمین می‌کند (Taghavi Kaljahi et al., 2014). از این‌رو، مدیریت منابع آب منطقه، به‌گونه‌ای که حداقل نیاز آبی تالاب را تأمین کند و منجر به کاهش خسارات ناشی از خشکسالی به سایر ذی‌نفعان شود، ضروری است.

در طول دهه‌های گذشته، واکنش‌های سیاسی گوناگون برای مقابله با کمبود آب و کاهش اثرات منفی خشکسالی بر بخش‌های مختلف مصرف‌کننده آب پیشنهاد شده است

1. Standardized Precipitation Index (SPI)

(Booker et al., 2012; Howitt et al., 2014; Kirby et al., 2014; Zilberman et al., 1998) اگرچه این مطالعات راه‌حل‌هایی مفید همچون تجارت آب، جایگزینی نهاده‌ها، تغییر در ترکیب محصولات و بهبود فناوری، برای کاهش آثار منفی حاصل از خشکسالی ارائه داده‌اند، اما ضعف اصلی مطالعات یادشده عدم توجه به رفتار راهبردی ذی‌نفعان، به‌عنوان عامل مهم در مقبولیت و ثبات سیاست‌های به‌کار رفته با هدف کاهش آثار خشکسالی بوده است. از این‌رو، این ضعف در مطالعات اخیر با استفاده از نظریه بازی همکارانه[1] مرتفع شده است. مزیت استفاده از راه‌حل نظریه بازی همکارانه (CGT) نسبت به مدل‌های بهینه‌سازی متداول توانایی آن در پرداختن به اصول کارآیی و برابری است که منجر به ایجاد نتایج قابل قبول و پایدار برای همکاری می‌شود (Do et al., 2020). از مطالعات اخیر می‌توان به مطالعه نوری و همکاران (Noori, Emadi and Fazloula, 2021) اشاره کرد که با استفاده از سه رویکرد نظریه بازی همکارانه، مدل مبتنی بر عامل و روش الگوریتم ژنتیک، به تخصیص بهینه منابع آب مخزن سد شهید رجایی در حوضه آبریز تجن پرداختند؛ و نتایج نشان داد که شرکت در ائتلاف کامل باعث افزایش منفعت کل بازیکنان شده، سود کل حوضه را تا ده درصد افزایش می‌دهد؛ همچنین، روش نظریه بازی همکارانه (CGT)، سود کلی ۲۴ درصد نسبت به سایر روش‌ها بیشتر افزایش می‌دهد. دو و همکاران (Do et al., 2020) نیز به بررسی اثرات توسعه مخزن فشرده تولید برق آبی بر زیست‌بوم، کشاورزی، شیلات و شرب در حوضه آبریز فرامرزی رودخانه لنسنگ مکانگ[2] با استفاده از مدل هیدرولوژیکی اقتصادی حوضه رودخانه و نظریه بازی همکارانه پرداختند؛ نتایج نشان داد که توسعه مخزن سد می‌تواند دسترسی به آب آبیاری را بدون آسیب جدی به تولید برق افزایش دهد و موجب افزایش عملکرد محصولات آبی و شیلات شده است؛ همچنین، به‌منظور استفاده عادلانه و کارآمد از آب در بین کشورهای ساحلی مکانگ، باید مشارکت بین‌بخشی و فرامرزی بین ذی‌نفعان تقویت شود. سوآثی (Swathi, 2020) به مدیریت منابع آب

1. Cooperative Game Theory (CGT)
2. Lancing- Mekong

و حل تعارضات با استفاده از رویکردهای مختلف نظیر نظریه بازی غیرهمکارانه، بازی زندانی، راهبرد بازیافت آب، راهبرد بازار آب و رویکرد نظریه بازی‌های همکارانه پرداخت؛ نتایج نشان داد که استفاده از نظریه بازی همکارانه می‌تواند با حداقل‌سازی هزینه‌ها و مصرف آب، مزیت‌های اقتصادی ایجاد کند. دگفو و همکاران (Degefu et al., 2018)، با استفاده از نظریه بازی مشارکتی همراه با نظریه چانه‌زنی نش و بازی‌های ورشکستگی، به بررسی تخصیص آب رودخانه فرات بین سه کشور سوریه، عراق و ترکیه پرداختند؛ نتایج نشان داد که کل رفاه پولی ایجادشده با تخصیص مجدد آب در حالت همکارانه بیشتر و پایدارتر از حالت عدم همکاری است. کاهیل و همکاران (Kahil et al., 2016) به مطالعه مدیریت آب و حفظ زیست‌بوم در شرایط کمیابی و خشکسالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک پرداختند. در این مطالعه، به‌منظور تجزیه‌وتحلیل سیاست‌های مدیریت آب برای اداره خشکسالی و کمبود در حوضه خشک و نیمه‌خشک جنوب اسپانیا، از چارچوب نظریه بازی مشارکتی استفاده شد و نتایج نشان داد که با تحقق همکاری، هزینه‌های خسارت خشکسالی کاهش می‌یابد. همچنین، قربانی و همکاران (Ghorbani et al., 2020)، با استفاده از نظریه بازی همکارانه و به کمک چهار روش راه حل نش نامتقارن، کلی–اسمردینسکای، مساحت یکنواخت و ضررهای مساوی، به تعیین الگوی بهینه کشت و میزان بهره‌برداری بهینه از حوضه آبریز قره‌سو پرداختند؛ نتایج نشان داد که با استفاده از نظریه بازی‌ها، می‌توان الگوی کشت و میزان بهره‌برداری بهینه را به‌گونه‌ای تعیین کرد که اهداف زیست‌محیطی و اقتصادی تأمین شود.

با توجه به اهمیت اقتصادی و زیست‌محطی تالاب میانکاله و نیز با توجه به سهم حوضه آبریز قره‌سو در تأمین آب مورد نیاز تالاب و افزایش شدت خشکسالی در منطقه مورد مطالعه، چگونگی مدیریت منابع آب حوضه آبریز قره‌سو به‌گونه‌ای که نیاز آبی تالاب در شرایط مختلف اقلیمی تأمین و منفعت سایر ذی‌نفعان در منطقه حفظ شود، ضروری است. اگرچه در مطالعاتی همچون مفتاح هلقی و همکاران (Meftah Halaghi et al., 2018) و قربانی و همکاران (Ghorbani et al., 2020)، اثرات تغییر اقلیم بر حوضه آبریز قره‌سو بررسی شده، اما یا به توزیع

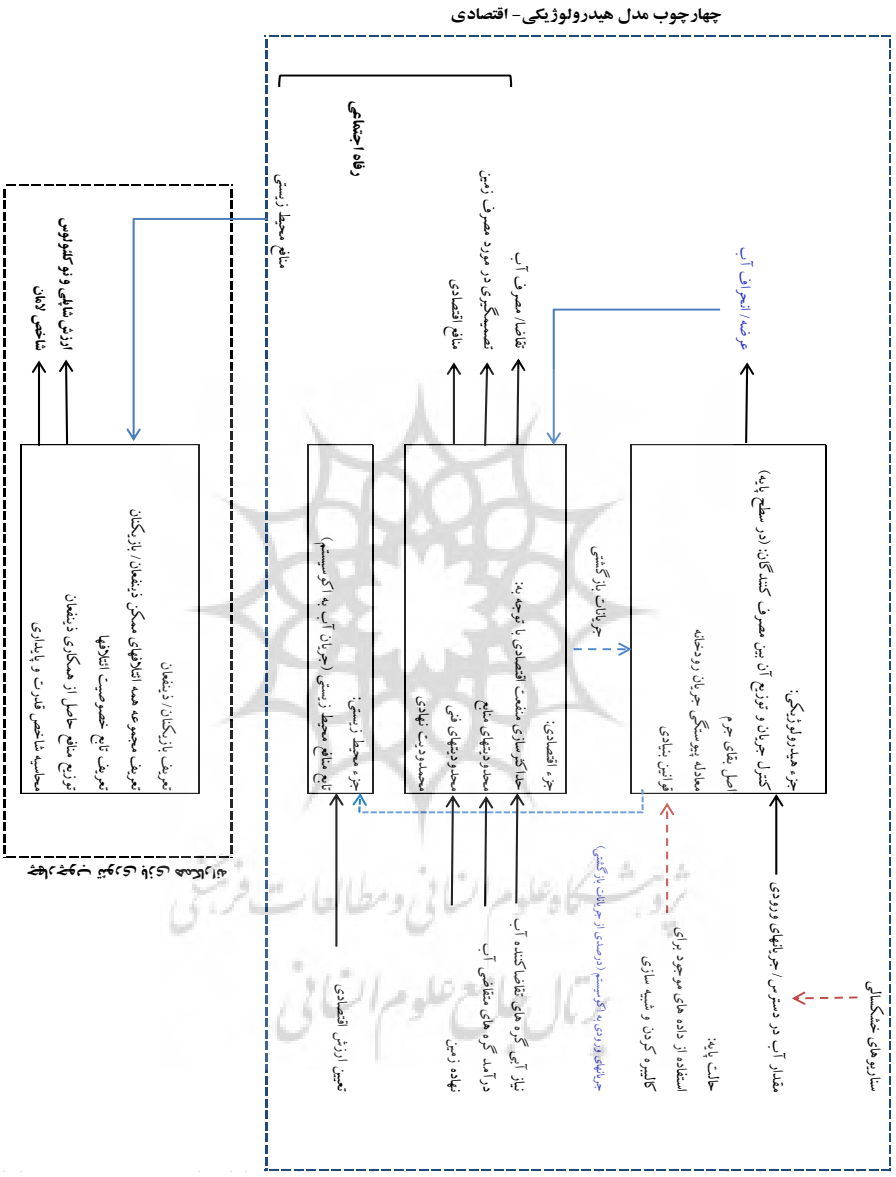
منابع آب حوضه بین کاربران در شرایط مختلف اقلیمی پرداخته نشده و یا صرفاً مدیریت اقتصادی و زیست‌محیطی آبریز قره‌سو بدون توجه به حفظ تالاب میانکاله مورد توجه بوده است. از این‌رو، در مطالعهٔ حاضر، از روش نظریه بازی همکارانه به‌عنوان راه‌حلی برای دستیابی به اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی استفاده شده است. بدین منظور، ابتدا با استفاده از مدل هیدرولوژیکی اقتصادی، منفعت کل حوضه آبریز قره‌سو برآورد شد و سپس، برای تخصیص بهینه منافع آب بین کاربران این حوضه و جلوگیری از کاهش بیش‌ازحد منافع در شرایط خشکسالی، نظریه بازی همکارانه به‌کار گرفته شد؛ همچنین، برای توزیع منافع حاصل از همکاری، از رویکرد شاپلی[1]، نش- هارسانی[2] و نوکلئولوس[3] استفاده شد.

روش تحقیق

در مطالعهٔ حاضر، به‌منظور استفاده از روش نظریه بازی همکارانه (CGT) در حل مناقشات مصرف آب در حوضه آبریز قره‌سو بین گروه‌های تقاضاکننده آب در منطقه شامل بخش کشاورزی[4]، شرب، صنعت، شیلات و محیط زیست، ابتدا از مدل هیدرولوژیکی- اقتصادی و سپس، بر اساس نتایج این مدل، از نظریه بازی همکارانه برای تخصیص بهینه منافع آب بین کاربران حوضه آبریز قره‌سو و جلوگیری از کاهش بیش‌ازحد منافع در شرایط خشکسالی استفاده شد؛ پس از آن، سه روش راه‌حل نش هارسانی، شاپلی و نوکلئولوس برای بازتوزیع بهینه منافع حاصل از همکاری مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت، دو شاخص قدرت و پایداری برای ارزیابی پایداری راه‌حل‌ها برآورد شد (شکل ۱).

1. Shapley
2 . Nash-Harsanyi
3. Nucleolus

۴- با توجه به ماهیت متفاوت فعالیت شیلات و کشاورزی از نظر مصرف آب، هر کدام به‌صورت یک فعالیت اقتصادی در مدل لحاظ شد. همچنین، به‌دلیل عدم دسترسی به اطلاعات دامپروری و نیز بالا نبودن حجم این فعالیت در منطقه مورد مطالعه، از وارد کردن آن در مدل صرف‌نظر شد.



مأخذ: یافته‌های پژوهش

شکل ۱- چارچوب مدل تجربی هیدرولوژیکی- اقتصادی و نظریه بازی همکارانه

مدل هیدرولوژیکی- اقتصادی حوضه رودخانه

ابتدا به‌منظور تخصیص آب در شرایط نرمال و خشکسالی و شبیه‌سازی رفتار کاربران آب در وضعیت‌های مختلف اقلیمی، از مدل تجربی حوضه رودخانه استفاده شد. مدل هیدرولوژیکی- اقتصادی شامل سه جزء است: ۱) مدل مبتنی بر اصل بقای جرم و معادله پیوستگی جریان رودخانه است. هدف این مدل، حداکثرسازی ارزش حال خالص تنزیل‌شده[1] منافع اقتصادی و زیست‌محیطی کل حوضه با توجه به محدودیت‌های هیدرولوژیکی و اقتصادی است. مسئله بهینه‌سازی برای کل حوضه رودخانه به‌صورت رابطه (۱) است (Nikouei et al., 2012). سپس، فرم کاهشی مدل هیدرولوژیکی با مدل بهینه‌سازی اقتصاد منطقه‌ای ترکیب شد (Kahil et al., 2016). برای فعالیت‌های آبیاری، یک مدل بهینه‌سازی در سطح مزرعه برای هر منطقه آبیاری در قالب رابطه (۲) و برای کاربران آب شهری، صنعت و شیلات نیز یک مدل مازاد اقتصادی برای هر بخش در قالب رابطه (۳) بسط داده شد. به‌منظور محاسبه منافع اقتصادی محیط زیست که تالاب برای جامعه فراهم می‌کند، از مدل تجربی بسط‌داده‌شده توسط نیکویی و همکاران (Nikouei et al., 2012) در قالب رابطه (۴) استفاده شد:

$$Max\ z = \sum_{k}\sum_{t}\frac{NBA^{s}_{k,t}}{(1+r_a)^t} + \sum_{u}\sum_{t}\frac{NBU^{s}_{u,t}}{(1+r_u)^t} + \sum_{u}\sum_{t}\frac{NBE_{e,t}}{(1+r_e)^t} \quad (۱)$$

$$TB^{s}_{agr,t} = (p_j * Y^{s}_{apply_{agr},c,k} - AC_{apply_{agr},c,k}) * L^{s}_{apply_{agr},c,k,t} \quad (۲)$$

$$TB^{s}_{u,t} = \beta_u^{intercept} + \beta_u^{linear} X^{s}_{apply_u,u} + \beta_u^{quadratic} (X^{s}_{applu_i,u})^2 \quad \forall \quad u \ni urb, ind, fsh \quad (۳)$$

$$NB^{s}_{e,t} = TB^{s}_{e,t} - TC^{s}_{e,t} \quad \forall \quad e \ni river \quad (۴)$$

1. discounted net present value

در رابطه (۱)، Max z حداکثرسازی تابع هدف یا همان ارزش حال خالص تنزیل‌شده، NBA منفعت خالص بخش کشاورزی و NBU منفعت خالص بخش‌های شرب، صنعت، شیلات و NBE منفعت خالص بخش محیط زیست در سناریوهای عرضه آب (s) (نرمال، خشکسالی متوسط و خشکسالی شدید) است. منفعت خالص از تفاوت هزینه کل از منفعت کل به‌دست می‌آید؛ همچنین، r نرخ تنزیل و اندیس k گروه مصرف آب آبیاری، u گروه مصرف غیرآبیاری (شرب، صنعت و شیلات) و e گروه زیست‌نحیطی است. در رابطه (۲)، $apply_{agr}$ مشخص‌کننده گروه مصرف آب کشاورزی، p قیمت هر واحد محصول (میلیون ریال بر هر کیلوگرم)، AC هزینه متوسط تولید هر کیلوگرم محصول در هکتار، L^s و Y^s، به‌ترتیب، سطح زیر کشت هر محصول (هکتار) و عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار) در سناریوی اقلیمی s است. روابط (۳) و (۴) منفعت کل بخش‌های غیرآبیاری را نشان می‌دهند. منفعت کل بخش محیط زیست برابر با تمایل به پرداخت خدمات تفرجی و زیست‌محیطی حوضه رودخانه قره‌سو برگرفته از مطالعه میرکریمی و همکاران (Mirkarimi et al., 2020) و ارزش اقتصادی محصولات و خدمات بخش کشاورزی در قالب رابطه (۲)، شرب، صنعت و شیلات در قالب رابطه (۴) و هزینه کل شامل هزینه‌های انرژی، بهره‌برداری و نگهداری، تصفیه، برداشت و انتقال آب‌های سطحی و زیرزمینی در هر گروه مصرف‌کننده است. در رابطه (۳)، βها پارامترها و بالانویس‌های آنها، به‌ترتیب، جزء ثابت (intercept)، خطی (linear) و درجه دوم (quadratic) برای استفاده آب در هر گروه و X مقدار آب مصرفی هر گروه ($apply$) در زمان t را نشان می‌دهد (Kahil et al., 2016; Nikouei et al., 2012).

از آنجا که رودخانه قره‌سو حدود ۵۲ درصد آب ورودی به تالاب میانکاله را تأمین می‌کند (Royan Consulting Engineers Company of Golestan, 2018)، تأثیر به‌سزایی در بوم‌شناسی گونه‌های گیاهی و جانوری تالاب به‌ویژه در ناحیه ساحلی اطراف رودخانه دارد. این تالاب زیست‌بومی کم‌نظیر در سطح جهانی با توجه به تنوع زیست‌بومی بالا، منابع زیست‌شناختی مختلف و زیستگاه بسیار مناسب و باارزش برای حیوانات کم‌نظیر و گونه‌های

مختلف پرندگان مهاجر آبزی است. تالاب میانکاله با تولید پنجاه درصد خاویار ایران و پرورش ۲۴ گونه آبزی از اهمیت اقتصادی قابل‌توجهی برخوردار است (Royan Consulting Engineers Company of Golestan, 2018). به‌منظور تعیین مقدار جریان زیست‌محیطی (ورودی) به تالاب، از مطالعه تقوی کلجاهی و همکاران (Taghavi Kaljahi et al., 2014) استفاده شد. بر اساس مطالعه یادشده، حداقل جریان ورودی به تالاب از رودخانه قره‌سو، با هدف حفظ تالاب میانکاله به‌عنوان زیستگاه پرندگان آبزی و کنار آبزی، در محدوده ده تا هجده میلیون متر مکعب در سال است. با توجه به اهمیت اقتصادی و زیست‌محیطی تالاب میانکاله، گزینه سیاستی تأمین نیاز زیست‌محیطی تالاب در دو حالت نرمال و خشکسالی در قالب رابطه (۵) بررسی شد:

$$\begin{matrix} \bar{X}_{divert_{wet},t}^{S(ins)_{lower}} = 10 & \forall \ \ s = Drought \\ \bar{X}_{divert_{wet},t}^{S(ins)_{lower}} = 18 & \forall \ \ s = Normal \end{matrix} \qquad (۵)$$

همچنین، دو سناریو برای عرضه سرآب رودخانه و آب‌های سطحی به‌صورت سناریوی عرضه آب نرمال و سناریوی عرضه آب در شرایط خشکسالی به‌صورت رابطه (۶) در نظر گرفته شد:

$$X_{inflow,t}^{s} = \rho^{s} Source_{inflow,t} \qquad \forall \ \ s \ni normal, semi\ drought, sever\ drough \quad \forall \ \ \rho \ni 100\%, 75\%, 50\% \qquad (۶)$$

که در آن، inflow گروه‌های عرضه آب، ρ^{s} درصد تأمین آب در سناریوی s، source حجم آب عرضه‌شده توسط منابع عرضه (میلیون متر کعب) و X کل جریان ورودی به گروه‌هاست. حداکثر کاهش در حجم آب قابل عرضه به گروه‌های تقاضاکننده آب بر اساس گزارش‌های شرکت آب منطقه‌ای گلستان طی یک دوره پنجاه‌ساله (۱۳۹۵- ۱۳۴۶) پنجاه درصد بوده است.

در مدل بهینه‌سازی حوضه رودخانه، مجموع منافع کل حوضه آبریز با توجه به قیدهای هیدرولوژیکی و اقتصادی حداکثرسازی می‌شود. همچنین، این مدل امکان محاسبه منافع حوضه در شرایط نهادی فعلی و سناریوی پایه (عدم همکاری) را فراهم کرده و نیز مبنایی برای محاسبه منافعی است که در شرایط مختلف اقلیمی (نرمال، خشکسالی متوسط، و شدید)، به کاربران تعلق می‌گیرد (Kahil et al., 2016; Nikouei et al., 2012).

نظریه بازی همکارانه

مراحل مختلف نظریه بازی همکارانه عبارت‌اند از: تعیین ذی‌نفعان، بررسی کلیه ائتلاف‌های ممکن مجموعه ذی‌نفعان، محاسبه مقدار تابع مشخصه برای هر ائتلاف با استفاده از نتایج مدل هیدرولوژیکی- اقتصادی حوضه آبریز قره‌سو، بررسی وجود یا عدم وجود هسته و استفاده از روش مناسب برای تخصیص منافع حاصل از ائتلاف بین ذی‌نفعان. در نظریه بازی همکارانه، فرض شد که N مجموعه همه ذی‌نفعان در بازی (کشاورزی، شرب، صنعت، شیلات و محیط زیست)، S مجموعه ائتلاف‌های شدنی و s (s∈S) یکی از ائتلاف‌های شدنی، مجموعه L شامل همه ائتلاف‌ها ({l}, l= 1, 2, …, n) و {N} ائتلاف بزرگ است. همچنین، در این روش، فرض شد که هدف سازمان توزیع‌کننده آب حداکثرسازی منافع f^s از یکی از ائتلاف‌های شدنی در حوضه s از طریق تخصیص بهینه آب بین ذی‌نفعان در ائتلاف است؛ همچنین، v(s) تابع خصوصیات ائتلاف s عبارت است از بهترین ارزشی که این ائتلاف می‌تواند به‌دست آورد. تابع توزیع مشارکتی آب به‌صورت روابط زیر است (Kahil et al., 2016):

$$v(S) = Max\, f^s = \sum_{l \in s} B_l \qquad (۷)$$

Subject to

$$\sum_{l \in s} WU_l \leq WA_s \qquad (۸)$$

که در این روابط، B_l منفعت خالص خصوصی مصرف آب توسط بازیکن l در ائتلاف s است. رابطه (۸) بیانگر محدودیت آب است و بر اساس آن؛ کل آب مصرف‌شده توسط بازیکن l در ائتلاف s نمی‌تواند از کل آب در دسترس برای آن ائتلاف بیشتر باشد. یکی از مسائل مهم در نظریه بازی همکارانه این است که چگونه می‌توان منافع حاصل از ائتلاف بزرگ را به‌گونه‌ای به ذی‌نفعان تخصیص داد که انگیزه کافی برای باقی ماندن در ائتلاف داشته باشند و ائتلاف پایدار باقی بماند. مدل‌های همکارانه چندین سازوکار تقسیم مزایا مبتنی بر مفاهیم مختلف عدالت را ارائه می‌دهند (Dinar et al., 2008). در مطالعهٔ حاضر، سه مفهوم راه‌حل CGT ارزش شاپلی، نش هارسانی و نوکلئولوس مبتنی بر نظریه‌های مختلف عدالت به‌منظور تخصیص دستاوردهای تعاونی بین ذی‌نفعان استفاده خواهد شد.

ارزش شاپلی

ارزش شاپلی مقدار مشخصی از سود، Ω_l^{sh}، را به نسبت میزان تأثیرگذاری اقتصادی بازیکن در ائتلاف‌های مختلف، به هر بازیکن اختصاص می‌دهد. ارزش شاپلی مبتنی بر این بینش است که تخصیص دریافتی هر ذی‌نفع باید نسبتی از سهم او باشد. ذی‌نفعانی که چیزی اضافه نمی‌کنند، نباید چیزی هم دریافت کنند و باید به ذی‌نفعان ضروری مقدار زیادی اختصاص داده شود (Winter, 2002). بیان ریاضی راه‌حل شاپلی به‌صورت رابطهٔ زیر است:

$$\Omega_l^{Sh} = \sum_{\substack{s \in S \\ l \in s}} \frac{(n-|s|)!\,(|s|-1)}{n!} . (v(s) - v(s-\{l\})) \qquad \forall\ l \in N \tag{۹}$$

که در آن، n تعداد کل ذی‌نفعان در بازی، $|s|$ تعداد ذی‌نفعان شرکت‌کننده در ائتلاف s و $v(s-\{l\})$ ارزش ائتلاف s بدون عضو l است.

راه‌حل نش- هارسانی

این راه‌حل نمونه توسعه‌یافته راه‌حل نش دونفره توسط هارسانی (Harsanyi, 1959) است. این روش برای چانه‌زنی بازیکنان با قدرت‌های چانه‌زنی متفاوت طراحی شده است. راه‌حل نش یک نقطه منحصربه‌فرد را بر روی مرز پارتو به‌گونه‌ای انتخاب می‌کند، Ω_l^{NH}، که حاصل‌ضرب منافع حداکثر شود (Salehi et al., 2010). راه‌حل نش- هارسانی به‌صورت رابطهٔ زیر است (Kahil et al., 2016):

$$
\begin{aligned}
&Max \prod_{l\in N}(\Omega_l^{NH} - v(\{l\}))\\
&\textit{subject to:}\\
&\Omega_l^{NH} \geq v(\{l\}) \quad \forall \quad l \in N\\
&\sum\nolimits_{les} \Omega_l^{NH} \geq \ v(s) \quad \forall \quad s \in S\\
&\sum\nolimits_{leN} \Omega_l^{NH} = \ v(N)
\end{aligned}
\qquad (۱۰)
$$

راه‌حل نوکلئولوس

هسته یک بازی همکارانه در فرم تابع مشخصه ممکن است خالی باشد، چراکه ائتلاف‌های جزئی خاص بازپرداختی بیش از ائتلاف بزرگ فراهم می‌کنند؛ برعکس، شرایط ممکن است در جایی پیش بیاید که هسته وجود دارد، اما بیش‌ازحد بزرگ است و مشکل تخصیص را برای چانه‌زنی بیشتر می‌کند. نوکلئولوس این مسئله را با حداقل‌سازی بدترین نارضایتی از نارضایتمندانه‌ترین ائتلاف حل می‌کند (Schmeidler, 1969). این روش بردار تخصیص سود را به‌گونه‌ای مشخص می‌کند که حداکثر میزان افزایش سود ائتلاف‌ها و ذی‌نفعان مختلف در اثر شرکت در ائتلاف اصلی به حداقل ممکن برسد. هسته بازی تخصیص سود می‌تواند با یافتن ε از طریق مدل بهینه‌سازی زیر تعیین شود:

$$
\begin{aligned}
&Max\ \varepsilon\\
&\textit{subject to}:
\end{aligned}
\qquad (۱۱)
$$

$$\varepsilon \leq \sum_{l \epsilon s} \Omega_l^{Nu} - \nu(s) \qquad \forall \quad s \epsilon S \tag{۱۲}$$

$$\sum_{l \epsilon N} \Omega_l^{Nu} = \nu(N) \tag{۱۳}$$

$$\varepsilon \lesseqgtr 0 \tag{۱۴}$$

در این روابط، ε حداکثر مالیات تحمیلی یا یارانه فراهم‌شده برای همه ائتلاف‌هاست که می‌تواند آنها را در هسته حفظ کند. تخصیص هسته، Ω_l^{Nu}، یک راه‌حل واحد است که اگر هسته خالی نباشد، همیشه در هسته است (Kahil et al., 2016).

شاخص قدرت و پایداری

تحقق نیازهای هسته برای یک راه‌حل تخصیص CGT یک شرط ضروری برای قابل قبول بودن آن توسط ذی‌نفعان است؛ با این همه، «در هسته بودن» پایداری راه‌حل را تضمین نمی‌کند. روش‌های گوناگون برای ارزیابی پایداری راه‌حل‌های تخصیص CGT همچون لامان[1] توسط لامان و همکاران (Loehman et al., 1979) پیشنهاد شده، که از همین شاخص در مطالعات مختلف برای ارزیابی عادلانه بودن تخصیص بین ذی‌نفعان استفاده شدعه است (Akbari, 2020; Do et al., 2020; Kahil et al., 2016). شاخص قدرت لامان سودهای یک بازیکن را با سودهای حاصل از ائتلاف مقایسه می‌کند. شاخص قدرت از رابطه (۱۵) به‌دست می‌آید (Loehman et al., 1979):

$$\theta_l^a = \frac{\Omega_l^a - \nu(\{l\})}{\sum_{l \epsilon N}(\Omega_l^a - \nu(\{l\}))}, \quad \sum_{l \epsilon N} \theta_l^a = 1, \qquad a = Sh, Nu \tag{۱۵}$$

که در آن، Ω_l^a راه‌حل تخصیصی برای بازیکن l با استفاده از مفهوم نظریه بازی همکارانه a و ارزش ائتلاف ذی‌نفع l است. شاخص قدرت هر ذی‌نفع به‌عنوان شاخص ثبات راه‌حل تخصیص

1. Loehman

استفاده می‌شود. شاخص قدرت بالاتر ذی‌نفع بدین معنی است که ذی‌نفع علاقه بیشتری برای مشارکت و ماندن در ائتلاف بزرگ دارد. اگر قدرت به‌صورت مساوی بین ذی‌نفعان تقسیم شود، احتمال اینکه ائتلاف باثبات باشد، بیشتر است. ضریب تغییر شاخص قدرت ذی‌نفعان مختلف برای هر راه‌حل تخصیص به‌عنوان شاخص پایداری ائتلاف بزرگ $\bar{\theta}_a$ تعریف شده است. هرچه مقادیر $\bar{\theta}_a$ بزرگ‌تر باشد، بی‌ثباتی راه‌حل تخصیص بیشتر خواهد بود.

داده‌های اقتصادی و بیوفیزیکی مورد نیاز شامل اطلاعات مربوط به گروه‌های عرضه (جریان‌های سطحی، سفره‌های آب زیرزمینی، سد و آب‌بندها) و تقاضای آب، میزان تبخیر و نفوذ، سطح زیر کشت، قیمت و عملکرد محصولات، میزان مصرف شهری، صنعت، کشاورزی و شیلات با استفاده از داده‌های کتابخانه‌ای و با مراجعه حضوری به شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان، سازمان جهاد کشاورزی و اداره آب و فاضلاب استان گلستان در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و نیز به روش پیمایشی و با تکمیل پرسشنامه از خبرگان جمع‌آوری شد. سپس، مدل حوضه رودخانه و کاربرد نظریه بازی همکارانه در حالت پایه و در شرایط مختلف اقلیمی با استفاده از بسته نرم‌افزاری GAMS طراحی و اجرا شد.

نتایج و بحث

حوضه آبریز قره‌سو با وسعتی معادل ۱۷۶۱۰۰ هکتار در شرق استان گلستان و در مجاورت خلیج گرگان واقع شده است. بر اساس گزارش شرکت آب منطقه‌ای گلستان (2016)، میانگین بارش و متوسط تبخیر و تعرق در حوضه آبریز قره‌سو، به‌ترتیب، ۱۰۱۸ و ۷۲۱ میلیون متر مکعب بوده است. متوسط مصرف آب‌های زیرزمینی توسط بخش کشاورزی، شرب و صنعت ۳۳۹ میلیون متر مکعب بوده که آب مورد نیاز ۱۰۷ هزار هکتار از اراضی زراعی آبی و باغی منطقه را تأمین می‌کند (Kankash Omran Engineers Company of Gorgan, 2016). در پژوهش حاضر، به‌منظور مدیریت بهینه منابع آب حوضه آبریز قره‌سو در سناریوهای مختلف عرضه آب و برای نیل به اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی و حفظ تالاب میانکاله، از

رویکرد نظریه بازی همکارانه استفاده شد. بدین منظور، ابتدا با استفاده از مدل هیدرولوژیکی- اقتصادی، حالت عدم همکاری که بیانگر شرایط فعلی تخصیص آب در حوضه آبریز قره‌سو است، برآورد شد. در حالت عدم همکاری، هیچ‌گونه همکاری بین ذی‌نفعان در خصوص تقسیم آب وجود ندارد و ذی‌نفعان به‌دنبال حداکثرسازی منافع شخصی خود از مصرف آب هستند. جدول ۱، به‌ترتیب، مصارف آب و منافع خالص ذی‌نفعان در حوضه آبریز قره‌سو در حالت عدم همکاری و در سناریوهای مختلف عرضه آب (نرمال، خشکسالی متوسط و خشکسالی شدید) را نشان می‌دهد. منفعت بخش‌های اقتصادی حوضه در حالت عدم همکاری و در شرایط نرمال از مصرف ۴۹۳ میلیون متر مکعب ۱۵۴۳۶ میلیارد ریال است. بخش کشاورزی و بخش صنعت، به‌ترتیب، با مصرف ۳۷۵ و بیست میلیون متر مکعب، بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین مصرف‌کنندگان آب حوضه بوده و در مجموع، ۱۵۳۴۵ میلیارد ریال از منفعت کل را به خود اختصاص داده‌اند. منفعت حاصل از بخش شرب و شیلات نیز در مجموع ۶۴ میلیارد ریال بوده که از مصرف ۷۸ میلیون متر مکعب آب به‌دست‌آمده است. با در نظر گرفتن گزینه سیاستی حفاظت از تالاب، در شرایط نرمال، آب مورد نیاز تالاب میانکاله از جریان‌های بازگشتی به رودخانه قره‌سو از مصارف مختلف و نیز جریان سرآب تأمین شده و حدود هجده میلیون متر مکعب است. این مقدار آب حداقل آب مورد نیاز برای حفظ زیست‌بوم تالاب در شرایط نرمال است. تأمین آب مورد نیاز تالاب سبب افزایش منفعت حوضه آبریز قره‌سو به میزان ۲۶ میلیارد ریال می‌شود. نتایج سناریوهای خشکسالی نیز نشان داد که در مجموع، خشکسالی منافع حوضه آبریز را بین هجده تا ۳۱ درصد و مصرف آب حوضه را نیز تقریباً بین بیست تا چهل درصد کاهش می‌دهد؛ همچنین، با افزایش شدت خشکسالی، استخراج آب برای فعالیت‌های آبیاری بین ۲۴ تا ۵۱ درصد کاهش یافته است. در این شرایط، منفعت بخش کشاورزی نیز تا ۴۲ درصد نسبت به شرایط نرمال کاهش می‌یابد. از آنجا که بخشی از آب مورد نیاز تالاب میانکاله از جریان‌های بازگشتی به رودخانه تأمین می‌شود، کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی و به‌دنبال آن، کاهش جریان‌های بازگشتی بسته به‌شدت خشکسالی موجب

کاهش آب دریافتی تالاب می‌شود و منفعت تالاب را تا ۴۴ درصد نسبت به شرایط نرمال کاهش می‌دهد.

جدول ۱- مقدار آب مصرف‌شده (میلیون متر مکعب) و منفعت حاصل از آن در حوضه آبریز قره‌سو در حالت عدم همکاری و در سناریوهای مختلف عرضه آب (میلیون ریال)

سناریوهای عرضه آب	نرمال		خشکسالی متوسط		خشکسالی شدید	
	مقدار آب	منفعت	مقدار آب	منفعت	مقدار آب	منفعت
کشاورزی	۳۷۷	۱۱,۰۶۲,۷۵۹	۲۸۰	۸,۳۶۴,۸۷۵	۱۹۰	۶,۳۹۰,۶۸۱
شرب	۵۳	۲۰,۱۵۷	۵۲	۱۹,۹۶۳	۵۲	۱۹,۹۵۹
صنعت	۲۰	۴,۲۸۲,۵۸۲	۲۰	۴,۲۳۶,۱۵۰	۲۰	۴,۱۹۸,۱۵۳
پرورش ماهی	۲۵	۴۳,۷۲۰	۲۴	۴۲,۸۵۱	۲۳	۴۱,۱۳۷
محیط زیست تالاب	۱۸	۲۶,۴۲۵	۱۸	۱۶,۸۱۰	۱۰	۱۴,۶۷۵
کل	۴۶۲	۱۵,۴۳۵,۶۴۳	۳۸۴	۱۲,۶۸۰,۶۴۹	۲۳۸	۱۰,۶۶۴,۶۰۵

مأخذ: یافته‌های پژوهش

از آنجا که تأمین آب شرب مهم‌ترین وظیفه نهادهای دولتی است، سازمان‌های متولی آب در منطقه (در اینجا، شرکت آب منطقه‌ای گلستان) تضمین می‌کنند که حداقل آب مورد نیاز برای شرب در اختیار جامعه انسانی قرار خواهد گرفت. در مطالعهٔ حاضر نیز با قرار دادن این قید که کل آب در دسترس گروه‌های تقاضاکننده آب نمی‌تواند از حداقل آب مورد نیاز آنها کمتر باشد و مجموع آنها از کل آب موجود در حوضه آبریز قره‌سو نمی‌تواند بیشتر باشد، شرط تأمین حداقل آب مورد نیاز بخش شرب و سایر بخش‌ها در نظر گرفته شده است. شبیه‌سازی سناریوهای خشکسالی نشان می‌دهد که در طول دوره‌های خشکسالی، حجم آب عرضه‌شده به مناطق مسکونی کاهش یافته است؛ هرچند، این کاهش چشمگیر نیست، اما منجر به کاهش منافع بخش شرب تا یک درصد می‌شود. جدول ۲ نشان‌دهندهٔ مقادیر تابع مشخصه در حالت عدم همکاری (شرایط پایه) و همکاری کامل در سناریوهای مختلف عرضه آب و بر اساس گزینه سیاستی حفظ زیست‌بوم تالاب میانکاله است.

جدول ۲- نتایج تابع مشخصه در شرایط همکاری کامل و عدم همکاری در سناریوهای مختلف عرضه آب (میلیون ریال)

نوع همکاری	ذی‌نفعان	نرمال	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید
عدم همکاری	کشاورزی	۱۱,۰۶۲,۷۵۹	۸,۳۶۴,۸۷۵	۶,۳۹۰,۶۸۱
	شرب	۲۰,۱۵۷	۱۹,۹۶۳	۱۹,۹۵۹
	صنعت	۴,۲۸۲,۵۸۲	۴,۲۳۶,۱۵۰	۴,۱۹۸,۱۵۳
	شیلات	۴۳,۷۲۰	۴۲,۸۵۱	۴۱,۱۳۷
	محیط‌زیست	۲۶,۴۲۵	۱۶,۸۱۰	۱۴,۶۷۵
	مجموع	۱۵,۴۳۵,۶۴۳	۱۲,۶۸۰,۶۴۹	۱۰,۶۶۴,۶۰۵
همکاری کامل[1]		۱۵,۶۵۵,۲۲۱.۳	۱۲,۹۳۲,۵۱۵.۵	۱۰,۹۴۶,۲۵۷.۸
درصد تفاوت بین عدم همکاری و همکاری کامل		۱/۴	۲/۰	۲/۶

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج نشان می‌دهد که در حالت همکاری کامل مدیریت منابع آب، منافع کل حوضه آبریز در سناریوهای مختلف عرضه آب در مقایسه با حالت پایه بین ۱/۴ تا ۲/۶ درصد افزایش یافته است. این نتیجه‌گیری ادعای مطالعات گذشته (Kahil et al., 2016; Teasley, 2009) مبنی بر افزایش منافع حاصل از مصرف آب در حالت همکاری را تأیید می‌کند. مقادیر تابع مشخصه حوضه آبریز قره‌سو در حالت‌های مختلف همکاری و در سناریوهای مختلف اقلیمی تفاوت معنی‌دار با حالت عدم همکاری داشته است، که این ویژگی دلالت بر تمایل ذی‌نفعان برای همکاری دارد. گرایش به همکاری در شرایط خشکسالی شدید نسبت به سایر سناریوهای عرضه آب، به‌دلیل افزایش بیشتر منافع کل حوضه آبریز قره‌سو در مقایسه با حالت عدم همکاری، بیشتر بوده است. همچنین، بررسی حالت‌های همکاری جزئی نشان داد که

۱- با توجه به اینکه در حالت همکاری کامل، نخست، منفعت کل و سپس، سود اضافی ناشی از ائتلاف و بازتوزیع آن بین بازیکنان با استفاده از راه‌حل‌های مختلف نظیر شاپلی، نوکلئولوس و ... محاسبه می‌شود، در اینجا هم تنها به ذکر منفعت کل حاصل از همکاری بسنده شده و منفعت سایر بخش‌ها در جدول ۳ آمده است.

همکاری‌های جزئی نیز می‌تواند منجر به حداکثرسازی منافع حوضه آبریز و نیز حفظ تالاب میانکاله شود، که این نتیجه با نتیجه مطالعهٔ پورسپاهی سامیان و کراچیان (Poursepahy Samian and Kerachian, 2011) مطابقت دارد؛ اما در حالت همکاری کامل، میزان افزایش در منافع بیشتر از حالت‌های جزئی است.

اگرچه در راه‌حل نظریه بازی همکارانه، منافع ذی‌نفعان در سناریوهای مختلف اقلیمی بالاتر از حالت عدم همکاری است، اما تضمین نمی‌کند که از نظر ذی‌نفعان، سود به‌دست‌آمده قابل قبول و این همکاری پایدار باشد. بدین منظور، از روش‌های ارزش شاپلی، نوکلئولوس و نش- هارسانی برای تخصیص منافع حاصل از ائتلاف استفاده شد. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که ترجیحات ذی‌نفعان برای روش‌های مختلف نظریه بازی همکارانه بسته به شرایط خشکسالی متفاوت است. در شرایط نرمال، بازیکنان کشاورزی، صنعت و شیلات، برای تخصیص منافع حاصل از ائتلاف برتر، روش نش- هارسانی را با توجه به منفعت بیشتر خود از آن ترجیح می‌دهند، زیرا راه‌حل نش- هارسانی یک سود افزایشی برابری به هر بازیکن بر اساس منفعت اصلی وی در حالت عدم همکاری صرف‌نظر از سهمی که در ائتلاف داشته است، اختصاص می‌دهد. اما ذی‌نفع شرب، برای توزیع سود حاصل از همکاری، روش نوکلئولوس را بر سایر روش‌های توزیع منافع حاصل از همکاری ترجیح می‌دهد، چون در این روش منفعت بیشتری عایدش خواهد شد. بازیکن تالاب، در شرایط نرمال و خشکسالی متوسط، روش نوکلئولوس را بر روش شاپلی و نش- هارسانی ترجیح می‌دهد و در شرایط خشکسالی شدید، برای تخصیص منافع حاصل از ائتلاف، راه‌حل شاپلی را بر سایر راه‌حل‌ها ترجیح می‌دهد. همچنین، در حالت همکاری کامل و در شرایط خشکسالی، منفعت بخش کشاورزی نسبت به حالت عدم همکاری افزایش یافته است و بازیکن بخش آبیاری راه‌حل نش- هارسانی را برای تقسیم منافع حاصل از همکاری بر روش‌های نوکلئولوس و شاپلی در شرایط خشکسالی ترجیح می‌دهد، زیرا در راه‌حل نش- هارسانی، منافع حاصل از همکاری بر اساس اختصاص وزن‌های نسبی به ذی‌نفعان که بر مبنای بیشینه تقاضای آب‌بران در حالت عدم همکاری در نظر گرفته شده است، بین

ذی‌نفعان توزیع می‌شود. از آنجا که بر اساس جدول ۱ بخش کشاورزی در حالت عدم همکاری ۸۲ درصد از منابع آبی موجود در حوضه را به خود اختصاص داده است، در حالت همکاری نیز با دریافت وزن بالاتری نسبت به سایر ذی‌نفعان سهم بیشتری از منافع حاصل از همکاری را دریافت خواهد کرد.

جدول ۳- منافع حاصل از ائتلاف همکاری و عدم همکاری (میلیون ریال)

سناریوهای عرضه آب	ذی‌نفعان	عدم همکاری	همکاری کامل		
			شاپلی	نوکلئولوس	نش- هارسانی
نرمال	کشاورزی	۱۱,۰۶۲,۷۵۹	۱۱,۰۳۳,۳۳۰	۱۰,۹۶۸,۸۷۳	۱۱,۰۳۲,۳۶۵
	شرب	۲۰,۱۵۷	۸۰,۶۹۳	۱۸۸,۲۹۲	۹۴,۴۸۹
	صنعت	۴,۲۸۲,۵۸۲	۴,۲۶۸,۱۵۸	۴,۲۴۹,۲۴۴	۴,۳۱۴,۷۰۵
	شیلات	۴۳,۷۲۰	۹۱,۸۰۵	۴۳,۷۶۴	۱۱۲,۹۱۵
	محیط‌زیست	۲۶,۴۲۵	۱۸۱,۲۳۵	۲۰۵,۰۴۹	۱۰۰,۷۴۷
خشکسالی متوسط	کشاورزی	۸,۳۶۴,۸۷۵	۸,۴۱۸,۹۷۹	۸,۴۱۶,۰۷۶	۸,۴۴۹,۶۷۴
	شرب	۱۹,۹۶۳	۹۶,۸۱۰	۱۶۷,۸۹۴	۱۰۵,۲۱۸
	صنعت	۴,۲۳۶,۱۵۰	۴,۱۴۰,۴۶۲	۴,۰۴۴,۲۷۵	۴,۱۱۴,۵۱۷
	شیلات	۴۲,۸۵۱	۹۷,۸۲۰	۸۵,۷۹۱	۱۲۱,۹۰۸
	محیط‌زیست	۱۶,۸۱۰	۱۷۸,۴۴۴	۲۱۸,۴۷۹	۱۴۱,۱۹۷
خشکسالی شدید	کشاورزی	۶,۳۹۰,۶۸۱	۶,۴۷۲,۵۴۶	۶,۴۶۶,۶۶۷	۶,۴۷۳,۲۳۸
	شرب	۱۹,۹۵۹	۸۳,۰۹۰	۱۰۸,۱۰۱	۱۹۸,۵۰۵
	صنعت	۴,۱۹۸,۱۵۳	۴,۱۳۴,۰۰۸	۴,۰۹۳,۲۴۰	۴,۰۷۷,۱۵۷۱۷۰
	شیلات	۴۱,۱۳۷	۱۰۰,۹۳۸	۱۲۹,۱۷۲	۸۴,۵۶۲
	محیط‌زیست	۱۴,۶۷۵	۱۵۵,۶۷۵	۱۴۹,۰۷۷	۱۱۲,۷۸۳

مأخذ: یافته‌های پژوهش

بررسی قابل قبول بودن تخصیص‌های نظریه بازی همکارانه با استفاده از مقررات هسته دلالت بر این دارد که تخصیص منافع بر اساس روش شاپلی و نوکلئولوس در سناریوهای

مختلف اقلیمی سه شرط عقلانیت فردی، گروهی و کارآیی را تأمین می‌کند و از این‌رو، برای تمام ذی‌نفعان قابل قبول است؛ بنابراین، ذی‌نفعان تمایلی به بازی به‌صورت انفرادی یا شرکت در ائتلاف‌های جزئی و یا ترک ائتلاف کلی ندارند. با این همه، ذی‌نفعان ترجیحات مختلف نسبت به راه‌حل‌های مختلف تخصیص دارند؛ بنابراین، لازم است که پایداری این راه‌حل‌ها بررسی شود. جدول ۴ شاخص قدرت لامان و پایداری ذی‌نفعان را در شرایط مختلف اقلیمی و برای روش‌های مختلف همکاری نشان می‌دهد. شاخص قدرت بیانگر ثبات راه‌حل تخصیص منافع حاصل از همکاری است. هرچه شاخص قدرت ذی‌نفع (شاخص قدرت لامان) بالاتر باشد، تمایل آن بازیکن برای همکاری و ماندن در ائتلاف کامل بیشتر خواهد بود. چنانچه قدرت به‌صورت کم‌وبیش یکسان بین ذی‌نفعان توزیع شود، ائتلاف به احتمال زیاد پایدار خواهد بود. ضریب تغییرات شاخص‌های قدرت ذی‌نفعان برای هر کدام از راه‌حل‌های مختلف تخصیص به‌عنوان شاخص پایداری تعریف می‌شود. هرچه مقدار شاخص پایداری بزرگ‌تر باشد، ناپایداری راه‌حل تخصیص بیشتر است. در مجموع، بررسی شاخص‌های پایداری نشان می‌دهد که در شرایط خشکسالی، ائتلاف برتر دارای ثبات است، بیانگر آنکه وضعیت اقلیمی انگیزه‌ای برای همکاری‌های مشترک به‌شمار می‌رود. این یافته با نتیجه مطالعه کاهیل و همکاران (Kahil et al., 2016) مطابقت دارد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۴- شاخص قدرت و پایداری ذی‌نفعان در حالت همکاری کامل در شرایط مختلف عرضه آب

حالت همکاری	شاخص قدرت ذی‌نفعان (لامان)					شاخص پایداری
	کشاورزی	شرب	صنعت	شیلات	محیط زیست	
نرمال						
شاپلی	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۹	۰/۰۱	۰/۰۳	۱/۸
نوکلئولوس	۰/۰۳	۰/۴۵	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۵	۱/۱
نش هارسانی	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۰
خشکسالی متوسط						
شاپلی	۰/۶	۰/۰۱	۰/۳	۰/۰۱	۰/۳	۰/۹
نوکلئولوس	۰/۱	۰/۳	۰/۰۴	۰/۱	۰/۴	۰/۷
نش هارسانی	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۰
خشکسالی شدید						
شاپلی	۰/۲	۰/۱	۰/۵	۰/۱	۰/۱	۰/۷
نوکلئولوس	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۲
نش هارسانی	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۰

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در مطالعهٔ حاضر، تخصیص بهینه منابع آب در شرایط مختلف اقلیمی برای حوضه رودخانه قره‌سو در شمال شرقی ایران با استفاده از نظریه بازی همکارانه انجام شد. در مرحله اول، ابتدا با استفاده از مدل هیدرولوژیکی- اقتصادی، مقادیر تابع مشخصه برای هر ائتلاف برآورد و سپس، از دو ارزش شاپلی و نوکلئولوس برای توزیع عادلانه منافع حاصل از همکاری استفاده شد. به‌منظور بررسی ثبات و پایداری ائتلاف کلی نیز از شاخص قدرت و پایداری لامان استفاده شد. راه‌حل نظریه بازی همکارانه و شاخص‌های قدرت و پایداری مورد بررسی در مطالعهٔ حاضر اطلاعاتی در خصوص امکان همکاری در حوضه ارائه می‌کند، که این اطلاعات می‌تواند در راستای دستیابی به توافق برای به اشتراک‌گذاری منابع آب مفید باشد و منافع اجتماعی و خصوصی منطقه را افزایش دهد. بر اساس اطلاعات پژوهش، ائتلاف کامل با

حضور تمام ذی‌نفعان به‌عنوان ائتلاف برتر با منفعت خالص ۱۵۶۵۵ میلیارد ریال در شرایط نرمال انتخاب شد. در شرایط خشکسالی متوسط و خشکسالی شدید نیز با توجه به اینکه منفعت خالص حاصل از ائتلاف کامل بیشتر از میزان منفعت خالص در ائتلاف‌های جزئی و حالت عدم همکاری بوده، ائتلاف کامل به‌عنوان ائتلاف برتر در نظر گرفته شد. نتایج گویای این حقیقت است که با تشکیل ائتلاف بین ذی‌نفعان برای تخصیص بهینه منابع آب حوضه آبریز قره‌سو، منفعت کل حوضه نسبت به حالت عدم همکاری به مقدار قابل توجهی افزایش خواهد یافت. مدیریت مشارکتی آب، به‌دلیل رفتار راهبردی ذی‌نفعان، ممکن است در عمل، بسیار چالش‌برانگیز باشد؛ اما شرکت‌های توزیع‌کننده آب می‌توانند با ایجاد مشوق‌های مختلف برای همکاری مانند تخفیف مالیاتی، یارانه، تعیین سقف مجاز استحصال آب برای کاربران مختلف، تعیین سازوکارهای دقیق نظارتی بر استحصال آب، مشاوره فنی کاربران و نیز گسترش روش‌های نوین استحصال آب به‌ویژه برای بخش کشاورزی، به ارتقای مدیریت همکارانه در حوضه آبریز بپردازند. اگرچه نتایج نشان داد که مدیریت مشارکتی موجب افزایش منافع حوضه آبریز شده، اما ممکن است در صورت فقدان مشوق یا مقررات لازم، اثرات کمی بر حفاظت از محیط زیست داشته باشد و یا با گسترش شدت خشکسالی، تمایل ذی‌نفعان به باقی ماندن در ائتلاف کاهش یابد. از این‌رو، لازم است برای نظارت بر توزیع عادلانه درآمد حاصل از همکاری و نیز جلوگیری از ترک ائتلاف، توافقنامه‌ای بین رؤسای سازمان‌های مربوط به هر کدام از ذی‌نفعان تنظیم شود تا این اطمینان حاصل شود که تخصیص آب به نفع هر کدام از ذی‌نفعان است. افزایش منفعت حاصل از همکاری با افزایش شدت خشکسالی بیانگر این واقعیت است که با توزیع بهینه منابع آب کمیاب در شرایط خشکی و کشت گیاهان مقاوم به کم‌آبی با کاهش مصرف آب، منفعت کل حوضه افزایش می‌یابد.

منابع

1. Akbari, M. (2020). Partnership of contractors in cooperative game theory approach to project resource management. *Scientia Iranica (International Journal of Science and Technology)*, 27(1): 469-480.
2. Alcamo, J., Henrichs, T. and Rosch, T. (2000). World water in 2025: Global modeling and scenario analysis for the World Commission on Water for the 21st Century. Report A0002. Center for Environmental Systems Research, University of Kassel, Germany. Available at http://www.env-edu.gr/Documents/World%20Water%20in%202025.pdf.
3. Amirnejad, H., Rafiee, H. and Atghaee, M. (2010). Estimation of the preservation value of environmental resources (case study: Miankaleh international wetland). *Journal of Envirenmental Studies*, 36(53): 89-98. (Persian)
4. Booker, J. F., Howitt, R.E., Michelsen, A.M. and Young, R.A. (2012). Economics and the modeling of water resources and policies. *Natural Resource Modeling*, 25(1): 168-218.
5. Boretti, A. and Rosa, L. (2019). Reassessing the projections of the world water development report. *NPJ Clean Water*, 2(1): 1-6.
6. Brouwer, R. and Hofkes, M. (2008). Integrated hydro-economic modelling: approaches, key issues and future research directions. *Ecological Economics*, 66(1): 16-22.
7. De Laporte, A. (2007). Tradeoffs between agricultural interests and wetland ecological benefits int he Eramosa watershed. University of Guelph.
8. Degefu, D.M., He, W., Yuan, L., Min, A. and Zhang, Q. (2018). Bankruptcy to surplus: sharing transboundary river basin's water under scarcity. *Water Resources Management*, 32(8): 2735-2751.
9. Dinar, A., Farolfi, S., Patrone, F. and Rowntree, K. (2008). To negotiate or to game theorize: evaluating water allocation mechanisms in the Kat Basin, South Africa. In: Game theory and policy making in natural resources and the environment (pp. 105-131), Routledge.

10. Do, P., Tian, F., Zhu, T., Zohidov, B., Ni, G., Lu, H. and Liu, H. (2020). Exploring synergies in the water-food-energy nexus by using an integrated hydro-economic optimization model for the Lancang-Mekong River Basin. *Science of The Total Environment*, 728: 137996.
11. Ghorbani, K., Meftah Halaghi, M., Keramatzadeh, A. and Salarijazi, M. (2020). Application of game theory to determining optimal harvesting of water resources (case study: Gharesu basin). *Journal of Water and Soil Conservation*, 27(5): 69-87. (Persian)
12. Harsanyi, J.C. (1959). A bargaining model for the cooperative n-person game. Stanford University.
13. Howitt, R., Medellin-Azuara, J., Lund, J. and MacEwan, D. (2014). Preliminary 2014 drought economic impact estimates in Central Valley agriculture. Center for Watershed Sciences, University of California Davis. Davis, California. Available at https://watershed.ucdavis.edu/files/biblio/Preliminary_2014_drought_economic_impacts-05192014. pdf. Retrieved ar 10 July, 2014.
14. Jahani, S., Hesam, M. and Mosaedi, A. (2009). Servaying drought process by rainfall fluctuation of Gorgan. Paper Presented at the First International Conference on Water Crisis, Zabol University, Zabol, Iran. (Persian)
15. Kahil, M.T., Albic, J., Dinar, A., Calvo, E., Esteban, E., Avella, L. and Garcia-Molla, M. (2016). Improving the performance of water policies: evidence from drought in Spain. *Water*, 8(2): 34.
16. Kankash Omran Engineers Company of Gorgan. (2016). Water resource balance of the study areas of the Qarehsou-Gorgan river basin. Rigenal Water Company of Golestan Province.
17. Kirby, M., Bark, R., Connor, J., Qureshi, M.E. and Keyworth, S. (2014). Sustainable irrigation: How did irrigated agriculture in Australia's Murray–Darling Basin adapt in the Millennium Drought? *Agricultural Water Management*, 145: 154-162.

18. Loehman, E., Orlando, J., Tschirhart, J. and Whinston, A. (1979). Cost allocation for a regional wastewater treatment system. *Water Resources Research*, 15(2): 193-202.
19. Mallawaarachchi, T., Blamey, R., Morrison, M., Johnson, A. and Bennett, J. (2001). Community values for environmental protection in a cane farming catchment in Northern Australia: a choice modelling study. *Journal of Environmental Management*, 62(3): 301-316.
20. Meftah Halaghi, M., Farzaneh, F., Dehghani, A. and Ghorbani, K. (2018). Evaluation of aquifer performance affected by different climate scenarios (case study: Qaraosso basin). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 12(5): 1140-1153. (Persian)
21. Middleton, B.A. (2012). Global change and the function and distribution of wetlands (Vol. 1). Springer Science and Business Media.
22. Mirkarimi, s., Amirnejad, H. and Joolaie, R. (2020). Integration of core and uncertainty bankruptcy methods for optimal allocation of Gorganrod-Gharahso basin. *Agricultural Economics*, 13(4): 105-126. DOI: 10.22034/iaes.2020.118653.1745. (Persian)
23. Mosaedi, A., Khalilizadeh, M. and Mohammadi, A. (2008). Drought monitoring in Golestan provinc. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 15(2): 176-182. (Persian)
24. Nikouei, A., Zibaei, M. and Ward, F.A. (2012). Incentives to adopt irrigation water saving measures for wetlands preservation: an integrated basin scale analysis. *Journal of Hydrology*, 464: 216-232. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2012.07.013.
25. Noori, M., Emadi, A. and Fazloula, R. (2021). An agent-based model for water allocation optimization and comparison with the game theory approach. *Water Supply*, 21(7): 3584-3601.
26. Poursepahy Samian, H. and Kerachian, R. (2011). Water allocation in common rivers: application of game theory. Paper Presented at the 6th National Congress on Civil Engineering, Semnan. (Persian)

27. Qureshi, M.E., Ranjan, R. and Qureshi, S.E. (2010). An empirical assessment of the value of irrigation water: the case study of Murrumbidgee catchment. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 54(1): 99-118.
28. Ringler, C. and Cai, X. (2006). Valuing fisheries and wetlands using integrated economic-hydrologic modeling — Mekong River Basin. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 132(6): 480-487.
29. Royan Consulting Engineers Company of Golestan. (2018). Studies of the detailed phase of the Miankale Biosphere Reserve Management Plan of Mazandaran Province, 16: 1-175. (Persian)
30. Salehi, F., Daneshvar, M., Shahnoushi, N. and Jaleh Rajabi, M. (2010). Application of game theory in determination of optimal groundwater extraction in Taybad Plain. *Agricultural Economics*, 4(3): 65-89. (Persian)
31. Schmeidler, D. (1969). The Nucleolus of a characteristic function game. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 17(6): 1163-1170.
32. Swathi, N. (2020). Water resource conflicts: a game theory approach. *Malaya Journal of Matematik*, S(2): 1416-1420.
33. Taghavi Kaljahi, S., Reiazi, B. and Taghavi, L. (2014). Determination of environmental water requirement of Miankaleh wetland. *Journal of Environmental Science and Technology*, 16(2): 101-109. (Persian)
34. Teasley, R.L. (2009). Evaluating water resource management in transboundary river basins using cooperative game theory: the Rio Grande/Bravo basin: The University of Texas at Austin.
35. EPA. (2018). Why Are Wetlands Important? Available at: https://www.epa.gov/wetlands/why-are-wetlands-important
36. Winter, E. (2002). The Shapley value. Chapter 53 in: Handbook of game theory with economic applications, Vol. 3, pp. 2025-2054.
37. Winter, T.C. (2000). The vulnerability of wetlands to climate change: a hydrologic landscape perspective. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 36(2): 305-311.

38. WWF (2020). Living Planet Report 2020 - Bending the curve of biodiversity loss. Almond, R.E.A., Grooten M. and Petersen, T. (Eds). World Wildlife Fund (WWF), Gland, Switzerland. Available at https://www.zsl.org/sites/default/files/LPR%202020%20Full%20report.pdf.
39. Ziaei, M, Keykha, A.A., Eshraghi, F., Ahmadpour, M., Ziaei, S., Mohammadi, H. (2022). Exploring the effect of environmental indicators on agricultural sustainability in Golestan province, *Journal of Natural Environment*, 74(2), 304-316. (Persian)
40. Zilberman, D., Dinar, A., MacDougall, N., Khanna, M., Brown, C. and Castillo, F. (1998). Private and institutional adaptation to water scarcity during the California drought, 1987-1992. Staff Paper No. 9802. Economics Division, Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی