نظریه بازی و کاربرد آن در تخصیص بهینه منابع آب

قهرمان عبدلی*
تیام مهاجر شجاعی**
تاریخ دریافت:۱۳۹۸/۱۲/۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱/۲۶

چکیده

تخصیص بهینه منابع آب، از منظر نظریه بازی و به وسیله توضیح و تفسیر شرایط موجود در بستر یک بازی همکارانه و تبیین یک راه حل بهینه، سال هاست مورد توجه اقتصاددانان قرار گرفته‌است. در بازی‌های همکارانه از آن جهت که بازیکنان می‌توانند در فضایی شفاف، از تصمیمات و استراتژی‌های دیگر بازیکنان آگاه باشند، بازی بر پایه همکاری و تقسیم سود حاصل از ائتلاف میان بازیکنان شکل خواهد گرفت و به دلیل وجود ائتلاف‌های گوناگون مابین بازیکنان، فضای تصمیم‌گیری در آن بسیار رقابتی است. در این مقاله، حوضه آبریز رودخانه اترک مورد مطالعه قرار گرفته و با طرح یک بازی همکارانه میان بازیکنان ذی‌نفع و بسط استراتژی‌های آنان و درنهایت حل بازی به روش برآورد ارزش شپلی برای هر بازیکن، سناریوی بهینه برآورد شده است. بر اساس این سناریو، تخصیص بهینه منابع آب در استان‌های شمال شرقی کشور، نه تنها می‌تواند موجب بهبود وضعیت زیست‌محیطی در آن ناحیه شود بلکه با افزایش درآمد ملی در منطقه همراه است.

طبقه‌بندی JEL: C71، D47، Q01، Q25، Q50، Q51، Q52
واژه‌های کلیدی: اقتصاد محیط زیست، بحران آب، تخصیص بهینه منابع آب، بازی همکارانه، ارزش شپلی.

* استاد اقتصاد، دانشکده اقتصاد دانشگاه تهران، تهران، ایران abdoli@ut.ac.ir
** دانشجو دکتری اقتصاد، پردیس بین الملل دانشگاه تهران، جزیره کیش، ایران
(نویسنده مسوول) ۰۹۱۲۷۱۹۲۰۰۸ tiam.mohajer@gmail.com

Game Theory and its Application on Optimal Allocation of Water Resources

G. Abdoli*
T. Mohajer Shojaie**
Received Date: 2020/02/23 Accept Date: 2020/04/14

Abstract
Water as a vital element has been a rout of political, national and international challenges for years due to its unequal supply and geographical distribution. A practical approach for optimal allocation of water resources in game theory through explanation and interpretation of current situation in a cooperative game framework and building up an efficient solution could be helpful. Since in the cooperative game, players can be aware of other players' decisions and strategies clearly, game will be performed based on the profit sharing between players' coalition and controversially there will be a competitive decision-making situation due to various coalitions between players. In this study, Atrak river drainage basin has been investigated. A cooperative game between beneficiaries has been introduced, their strategies have been explained and finally "Shapley Value" has been evaluated for each player and efficient scenario is assessed. Based on optimal allocation of water resources scenario in north east provinces, environmental improvement and national income increase will be expected.

JEL Classification: C71, D47, Q01, Q25, Q50, Q51, Q52
Key Words: Environmental Economics, Water Crisis, Efficient Allocation of Water Resources, Cooperative Game, Shapley Value

*. PhD student in Economics, Kish International Campus, University of Tehran / abdoli@ut.ac.ir
*. Professor of Economics, University of Tehran / (09127192008) / tiam.mohajer@gmail.com

۱. مقدمه

آب به عنوان یک عنصر اساسی در حیات کره زمین، سال‌ها مورد بی توجهی بسیار واقع شده است؛ آثار بحران کمبود آب شیرین که متوجه ساکنان زمین و خصوصاً کشورهایی که در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، از جمله ایران، واقع شده‌اند، مشهود است، و ادامهٔ روند موجود، در آینده‌ای نه چندان دور، جهان را با فجایع عظیم مواجه خواهد کرد؛ درحالی که جمعیت جهان، همه روزه در حال افزایش و سطح زندگی نیز در حال ارتقاء است. این امر به خودی خود، باعث تقاضای بیشتر و افزایش سطح مصرف آب می‌شود، در صورتی که منابع آب شیرین جهان در بهترین حالت، ثابت و در بیشتر موارد، رو به کاهش است.

ما انسان‌ها همگی ساکن یک سرزمین مشترک هستیم که می‌باید درحفاظت از آن بکوشیم. اینک کم‌آبی و بی‌آبی، به صورت یک مشکل جهانی مطرح و در مناطق مختلف دارای شدت و ضعف است. منابع آب شیرین، منابعی تجدیدپذیر هستند، ولی مقدار آبی که از طریق چرخه طبیعت ایجاد می‌شود، صرف‌نظر از نوسانات سالیانه، ثابت است. به عبارت دیگر، مقدار آبی که امروزه کره زمین از چرخه طبیعت دریافت می‌کند، معادل همان آبی است که سال‌ها پیش ایجاد می‌شد. از طرفی، توزیع آب در مکان‌ها و زمان‌های متفاوت، متغیر است و متناسب با توزیع جمعیت و نیاز آنها نخواهد بود.

بسیاری از حوضه‌های آبی در سطح کره زمین، دقیقاً در محدوده‌های مرزی کشورها و شهرها واقع شده‌اند و اکثراً به طور مشترک مورد بهره برداری قرار می‌گیرند. در واقع، منابع آبی بدون توجه به مرزبندی کشورها و شهرها بر روی نقشه‌های جغرافیایی قرار گرفته‌اند. همین موضوع، منشأ ایجاد برخی از مهمترین چالش‌ها و مناقشات سیاسی و اقتصادی بر سر تخصیص بهینه منابع آب است.

تخصیص منابع آبی، اصولاً با درگیری‌هایی به منظور جلب نظر سیاست‌گذاران و متقاضیان آب مواجه است. محققان روش‌های متفاوتی را برای دستیابی به راه‌حل بهینه ارائه داده‌اند. یک روش کاربردی در این زمینه، توجه به تجزیه‌وتحلیل مسأله از طریق طرح یک بازی همکارانه[1] میان شهرها، سازمان‌ها و یا حتی کشورهای درگیر موضوع و ارائه استراتژی بهینه، می‌تواند بسیار راهگشا باشد. در سال ۱۹۶۹ راجرز[2] برای نخستین بار از یک رویکرد مبتنی بر نظریه بازی‌های همکارانه در زیر حوضه رودخانه گنگ و براهماپوترا که شامل آب‌بران مختلفی میان دو کشور هند و پاکستان است، استفاده کرد. نتایج به‌دست آمده، یک سری استراتژی است که می‌تواند بستر لازم برای همکاری این دو کشور را فراهم آورد (Rogers, 1969).

در حال حاضر که کشورمان با موضوع کم‌آبی و بی‌آبی دست و پنجه نرم می‌کند، یک سیاست بهینه که در کوتاه‌مدت و بلندمدت قابل اجرا باشد، بیش از پیش مورد نیاز است. ایران در منطقه‌ای قرار دارد که بیشتر نواحی آن در محدوده گرم و خشک جغرافیایی است و از طرفی، در ناحیه شمال و شمال شرقی و همچنین محدوده غرب، جنوب غربی و شمال غربی کشور، دارای شش حوضه آبریز اصلی است که هرکدام از آنها، به حوضه‌های فرعی درجه یک و دو تقسیم می‌شود (وزارت نیرو، ۱۳۸۳) واکثر این منابع آبی به طور مشترک از سوی چندین استان مورد استفاده قرار می‌گیرند، که موجب تشدید پیچیدگی مدیریت و بهره‌برداری صحیح و اقتصادی از آنها شده است.

در این میان، یکی از راهکارهایی که محققان برای حل مساله بهره‌برداری اقتصادی از یک حوضه آبخیز مشترک استفاده کرده‌اند، نظریه بازی‌های همکارانه است. با توجه به تشدید بحران آب در جهان و کشور و افزایش اختلافات بر سر این

1. Cooperative Game
2. Rogers

مسأله، در این مقاله، به بررسی کارکرد یک بازی همکارانه (CGT[1]) در زمینه تخصیص بهینه منابع آب در حوزه آبریز رودخانه اترک به عنوان یک حوضه فرعی درجه یک که در حوضه آبریز اصلی دریای خزر قرار گرفته است، خواهیم پرداخت و به دنبال آن هستیم که آیا امکان برقراری نوعی همکاری میان بهره‌برداران این حوضه آبی مشترک وجود دارد یا خیر، آیا همکاری موجب حصول منافعی برای آنان خواهد شد و همچنین این منفعت چگونه باید میان کاربران حوضه تخصیص پیدا کند.

۱. نظریه بازی‌ها و تخصیص بهینه منابع آب

نظریه بازی (GT)[2]، مدل سازی رفتار استراتژیک تصمیم گیرندگان (بازیکنان)، در شرایطی است که تصمیمات یک بازیکن، دیگر بازیکنان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از فروض اولیه نظریه بازی، آن است که تصمیم گیرندگان، بازیکنان منطقی هستند، که عقلایی رفتار می‌کنند، یعنی با در نظر گرفتن تأثیرات احتمالی رفتار بر دیگران، آن تصمیمی را اتخاذ می‌کنند که بیشترین منفعت را دربرداشته باشد. بنابراین، درحالی‌که هر بازیکن به خوبی به دنبال اهداف تعریف شده خود است، انتظارات خود را از بازیکنان دیگر بر اساس عقلانیت و حسابگری دیگر تصمیم گیرندگان تشکیل می‌دهد. محیطی که در آن، کنش و واکنش ها شکل می‌گیرد را محیط استراتژیک گویند.

نظریه بازی، مدل‌های ریاضی از درگیری‌ها و همکاری‌ها و نهایتاً ارائه الگوهای رفتاری استراتژیک و اطلاق یک پیامد[3]به بازیکنان به منظور ارائه یک راه‌حل است.

1. Cooperative Game Theory
2. Game Theory
3. Payoff

نظریه بازی، دو شاخه اصلی دارد: یکم، نظریه بازی‌های غیرهمکارانه[1] است که بیشتر معمول و مورد استفاده قرار می‌گیرد و دوم، نظریه بازی همکارانه[2] است. مهمترین تفاوت میان بازی غیرهمکارانه و همکارانه، آن است که در بازی غیر همکارانه، بازیکنان تنها اهداف و استراتژی خود را می‌بینند و در نتیجه، تشکیل هرگونه همکاری میان آنها منتفی خواهد بود؛ ولی در بازی‌های همکارانه، پایه و اساس بر همکاری و تقسیم سود حاصل از ائتلاف است (Irene Parrachino, Stefano Zara and Fioravante Patrone, 2006).

عبارات بازی همکارانه و غیر همکارانه، واژگانی هستند که توضیح دهندگی لازم را ندارند و این واژگان، نشان نمی دهند که یک بازی همکارانه تا چه حد می‌تواند مانند بازی‌های غیر همکارانه رقابتی باشد؛ زیرا امکان دارد، ائتلاف‌های گوناگونی میان بازیکنان تشکیل شود که نتایج هرکدام، متفاوت است (Chatain 2014).

۱-۱. نظریه بازی‌های همکارانه

بازی همکارانه، زمانی شکل می‌گیرد که تشکیل ائتلاف از سوی بازیکنان و همکاری برای آنها، ارزش و منفعت به ارمغان بیاورد و همچنین طرفین می‌توانند در کسب منفعت حاصل از همکاری، رقابت کنند. در واقع، یک‌سری عوامل خواهیم داشت و یک تابع که نشان‌دهنده انتقال منفعت حاصل از همکاری به زیرمجموعه‌های هر عامل است (تابع مشخصه) و مفهوم راه‌حل در اینجا، همان نتیجه حاصل از مذاکرات است، که از سوی عوامل برای رسیدن به توافق صورت می‌گیرد. هر نوع ائتلاف میان این افراد، و یا هر مدل از همکاری میان اعضاء، منفعتی را ایجاد خواهد کرد (Chatain 2014).

1. Non-Cooperative Game Theory
2. Cooperative Game Theory

۱-۱-۱. راه‌حل‌های بازی همکارانه

نظریه بازی همکارانه در قدم اول، در جست و جوی توافقات و ائتلاف‌های ممکن در یک بازی و پیامد هر یک از آنها است. قدم دوم، تقسیم پیامد ائتلاف‌های ممکن میان بازیکنان، به گونه‌ای که انگیزه پیوستن به ائتلاف و همکاری فراهم شود. بنابراین، ابتدا بازی‌ها را به شکل فرم مشخصه نشان می‌دهیم. برای حل بازی‌های دو نفره در فرم مشخصه اصلی‌ترین راه‌حل، چانه‌زنی نش است و برای حالت n بازیکن، راه‌حل‌های زیادی وجود دارد؛ مانند راه‌حل هسته‌ای، شپلی، شپلی و شوبیک و نیاکلوس (عبدلی, ۱۳۹۱).

۱-۱-۲. راه‌حل هسته[1]

یک بازی همکارانه $(N.v)$ را در نظر بگیرید که در آن، N تعداد ائتلاف‌هایی[2] است که می‌تواند بین اعضا شکل بگیرد و v نیز منفعت به‌دست آمده از هر ائتلاف است. اگر ائتلاف X و یا S از N تشکیل شود و منفعت $v(s)$ و یا $v(x)$ را برای اعضاء ایجاد کند و جمع منافع اعضای ائتلاف s بیشتر باشد؛ در نتیجه، افراد از ائتلاف X خارج شده و به ائتلاف S خواهند پیوست. در نتیجه برای آنکه ائتلاف X در میان جمع پایدار باشد (فرض می‌کنیم ائتلاف X مطلوب جمع است و دارای تخصیص عقلایی است)، باید همواره پیامد حاصل از آن، برای افراد بیشتر از هر ائتلاف دیگری میان آن افراد باشد. به این مفهوم هسته می‌گویند. همه ائتلاف‌ها لزوماً دارای یک تخصیص عقلایی به شکل هسته نیستند و در واقع، هسته آنها تهی است و همچنین امکان دارد در بعضی از بازی‌های همکارانه، شاهد چندین تخصیص بهینه یا همان هسته‌ها باشیم (Brandenburger and Stuart, 2007).

1. Core
2. Coalitions

۳-۱-۱. راه‌حل ارزش شپلی[1]

چندین راه‌حل برای یافتن تخصیص عقلایی یکتا در بازی‌های همکارانه ارائه شده، که مهمترین آن، "ارزش شپلی" است که به وسیله شپلی در سال ۱۳۵۳ ارائه شده است (عبدلی, ۱۳۹۱). در این راه‌حل، به نقش بازیکنانی که در بازی، تشکیل ائتلاف می‌دهند، بیشتر توجه می‌شود؛ به شکلی که ورود هریک از اعضاء به ائتلاف، ممکن است باعث افزایش منفعت دیگر بازیکنان نیز بشود. در واقع ارزش شپلی، ارزش افزوده شده از سوی یکی از اعضاء به همه ائتلاف است، که همیشه وجود دارد و برای هر عضو، منحصربه‌فرد است. در این راه‌حل، به مسأله انصاف در تخصیص منفعت حاصل شده تأکید می‌رود. ابتدا یک تابع ارزش تعریف می‌شود، که آن را با $Q_i(\mathrm{v})$ نشان می‌دهیم. در واقع، ارزش شپلی، متوسط جمع تمامی ارزش‌هایی است که بازیکن i با ورودش به ائتلاف‌های متفاوت متشکل از N ایجاد می‌کند، که برای این کار می‌باید، پیامدهای ائتلاف را در زمانی که بازیکن i در ائتلاف است و زمانی که از ائتلاف کناره می‌گیرد را محاسبه کنیم و از هم، کم نموده و بر تعداد حالات ایجاد شده، تقسیم کنیم. درنهایت، با محاسبه ارزش شپلی برای هر بازیکن، بردار ارزش شپلی ایجاد می‌شود:

$$Q(V) = (Q(V_1).Q(V_2).\dots.Q(V_n))$$

که برای رسیدن به حالت پایدار، باید به شکل عادلانه میان اعضاء توزیع شود (deFontenay and Gans, 2005).

برای کاربرد ارزش شپلی، می‌باید اصول موضوعه زیر برآورد شود:

۱. کارآیی (عقلانیت گروهی) یعنی:

$$\sum_{i\epsilon N} Q(V) = V(N)$$

1. Shapley Value

۲. تقارن: اگر دو بازیکن i و j نقش مساوی در ایجاد پیامد ائتلاف داشته باشند، باید به یک اندازه از پیامد ائتلاف سود ببرند، یعنی:

$$V(S \cup \{i\}) = V(S \cup \{j\}) \quad \Rightarrow \quad Qi(v) = Qj(v)$$

۳. اگر بازیکنی، بود و نبودش در ائتلاف یکسان باشد، یعنی سهمی در ایجاد پیامد ائتلاف نداشته باشد، هیچ نصیبی از پیامد ائتلاف نخواهد برد، یعنی:

$$V(S \cup \{i\}) = V(s) \quad \Rightarrow \quad Q(v) = 0$$

.۴

$$Q(u + v) \geq Q(u) + Q(v)$$

اگر $Q(V)$ اصول موضوعه فوق را برآورده سازد، در این صورت، ارزش اختصاص یافته به بازیکن i به وسیله رابطه زیر معلوم می‌شود:

$$Qi(v) = \sum_{\substack{sUN \\ iUS}} (|s| - 1)!\,(n - 1)!\,[V(s) - V(s - \{i\}]\,/n!$$

علامت جمع بر روی تمام ائتلاف‌هایی که بازیکن i در آن حضور دارد، بسته می‌شود. $|s|$ تعداد اعضای ائتلاف S و میزان افزایش پیامد ائتلاف در صورت پیوستن عضو به آن ائتلاف را نشان می‌دهد که اصطلاحاً، به آن آورده یا دستاورد بازیکن به ائتلاف می‌گویند و در حالت کلی، رابطه فوق نشان می‌دهد، پیامدی که بازیکن از پیامد ائتلاف جمعی می‌گیرد، می‌باید برابر متوسط آورده یا دستاورد نهایی او به ائتلاف‌های مربوط به خود باشد (عبدلی, ۱۳۹۱).

۴-۱-۱. راه‌حل نوکلئولس[1]

یک راه‌حل دیگر برای حل مسائل بازی‌های همکارانه، استفاده از روش نوکلئولس است که توسط اشمایدر[1] در سال ۱۹۶۹ ارائه شده است و نشان می‌دهد که مقدار

1. Nucleolus

افزایش منفعت ائتلاف‌ها و بازیکنان، در نتیجه شرکت در ائتلاف اصلی به حداقل برسد. در واقع، اگر هر ائتلاف دیگری مانند s تشکیل شود و نسبت به ائتلاف همگانی نارضایتی داشته باشد، این نارضایتی، به حداقل برسد. بر خلاف ارزش شپلی نشان می‌دهد که هسته یک بازی مشارکتی، غیر خالی است و ائتلاف بزرگتر همیشه ثبات دارد (Leng and Parlar, 2010).

بازی مشارکتی به شکل $(N.v)$ و ائتلاف s را در نظر بگیرید. میزان نارضایتی[2] ائتلاف s از تخصیص پیامدهای مشارکت همگانی به شکل زیر است:

$$e(X.S) = V(s) - \sum_{J \epsilon s} Xj$$

معادله فوق، نشان دهنده تغییر پیامد ائتلاف s، $v(s)$، از کل پیامدهای اختصاص داده شده به اعضای ائتلاف در صورت مشارکت در ائتلاف جمعی است و اگر این میزان بیشتر از صفر باشد، این مقدار در هسته قرار دارد (Airiau, 2012).

۲. کاربرد نظریه بازی‌های همکارانه در حل مناقشات منابع آب

بسیاری از فعالیت‌های اقتصادی، از رفتارهای استراتژیک اشخاص و احزاب نشأت می‌گیرد. نظریه بازی، راهکارهای بسیار مهمی درخصوص سیاست‌گذاری در بخش‌های متفاوت اقتصادی- سیاسی عنوان می‌کند؛ بویژه در زمینه منابع طبیعی و مسائل زیست‌محیطی. در مباحث مربوط به نظریه بازی، آنچه تا به حال، مکرر مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته و بسیار معمول است، بازی‌های غیرهمکارانه است و توجه کمتری به بازی‌های همکارانه، بویژه در زمینه مباحث مربوط به محیط زیست، شده است. در سال ۱۹۶۹ راجرز برای نخستین بار، از یک رویکرد مبتنی بر نظریه

1. Schneider
2. Unhappiness

بازی همکارانه استفاده کرد و سپس در سال ۱۹۸۲ دفورنید[1] در حوضه رودخانه کلمبیا، از نظریه بازی‌های همکارانه استفاده کرد و نشان داد که تئوری سود دو طرفه در تمام موارد سازگار نیست (Dufournaud ۱۹۸۲).

هینی و دیکنسون[2]نیز برای تخصیص هزینه‌های مربوط به پروژه‌های آبی، راه‌حل جدید MCRS[3]با استفاده از تئوری بازی‌های همکارانه ارائه دادند (Heaney and Dickinson, 1982)؛ و همچنین راه‌حل جدیدی برای حل بازی‌های همکارانه برای تخصیص هزینه و منفعت در یک پروژه در کالیفرنیا جنوبی، معروف به راه حل نوکلئوس نرمال شده[4] توسط لهانو و داووس[5] ارائه شد (Lejano and Davos, 1995). و سپس در سال ۲۰۰۶ در حل مناقشات تخصیص منابع آب رودخانه نیل، از روش نظریه بازی همکارانه استفاده شد (Xun wu and Dale whittington, 2006). و نهایتاً کاوه مدنی در سال ۲۰۱۰ با انتشار مقاله‌ای، به بسط و گسترش نظریه بازی‌ها در حوضه منابع آب پرداخت.

در یک مسأله مناقشه در منابع آب، تمام گروه‌های ذی نفع و یا افراد متقاضی می‌توانند به عنوان بازیکن انتخاب شوند که در آن، هر تصمیم گیرنده می‌تواند یک انتخاب یک جانبه و یا یک انتخاب ترکیبی با همکاری دیگر بازیکنان داشته باشد و منفعتی را کسب کند. در واقع، این امکان برای بازیکنان فراهم است که به جای یک حرکت یک جانبه، به یک ائتلاف بپیوندند که به بهینه پرتو منجر شود. تکنیک‌های نظریه بازی، روش مؤثر و کاربردی در توضیح و تفسیر این مسأله است (Madani, Game theory and water resources, 2010).

1. Christian M. Dufournaud
2. Heaney and Dikinson
3. Minimum costs remaining savings
4. Normalized nucleolus
5. Lejano and Davos

یکی از مطالعات جدید در این زمینه، مطالعه (Tiangui *et al.*, 2019) است. می‌دانیم اگر تعداد بهره‌برداران از یک منبع مشاع زیاد باشد، تبدیل رقابت به همکاری، بسیار دشوار و حتی غیرممکن است. برای فائق آمدن بر این مشکل محققان مذکور در حوضه آبریز مورد مطالعه، منطقه‌بندی یا ناحیه‌بندی را پیشنهاد می کنند؛ و نظریه بازی همکارانه را برای هماهنگی بین مناطق استفاده کرده و نتایج مدل، حکایت از ضرورت یک بازیکن خارج از منطقه یعنی دولت را ضروری برای رسیدن به تعادل می‌داند. طبق نتایج این مدل، دخالت دولت باید از طریق پرداخت سوبسید به بعضی از مناطق بهره بردار باشد.

یکی از ابعاد مهم تخصیص منبع محدود آب که بر سر استفاده از آن مناقشه فراوان وجود دارد، در نظر داشتن اهداف توسعه و کاهش نابرابری‌های حوزه های آبریز است. نظریه بازی های همکارانه، این کمک مهم را در مدل‌سازی برای تخصیص آب فراهم می سازد. در مطالعه (Kosolapova *et al.*, 2018) به نحوه مدل‌سازی با در نظر گرفتن تراز آب و وارد کردن متغیرهای توسعه اشاره دارد، و در این مقاله، از این مطالعه، کمک گرفته شده است.

یکی از مباحث مناقشه انگیز در تخصیص آب بین بخشهای مختلف مثل کشاورزی، صنعت و خدمات است. نظریه بازی همکارانه، کمک زیادی در حل این مناقشه می کند (Mehrparvar *et al.*, 2016).

یک مطالعه سیستماتیک در مورد استراتژی‌های بازیکنان درگیر در مناقشات منابع آب، می‌تواند بینش ما را نسبت به ارائه راه‌حل‌های نوآورانه بیشتر کند. در ادبیات برنامه‌های کاربردی نظریه بازی منابع آب، طیف وسیعی از مشکلات منابع آب مانند مکان، روش حل، انواع تجزیه‌وتحلیل و دسته بندی‌ها و طبقه بندی‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند. بنابراین، نظریه بازی‌ها در حوضه‌های هزینه و یا سود تخصیص بهینه میان متقاضیان، مدیریت آب‌های سطحی، تخصیص بهینه منبع آبی میان

متقاضیان بین‌المللی، مدیریت کیفیت آب و دیگر مسائل مربوط به مدیریت و تخصیص منابع آب، انجام گرفته، و با افزایش توجه محققان حوضه منابع آب به نظریه بازی در دهه اخیر، تأکیدی بر این تمایل رو به رشد در حل مناقشات با استفاده از این روش بوده که در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. تحقیقات کاربردی در زمینه تخصیص بهینه منابع آب به روش نظریه بازی‌ها

اهداف	مکان	روش حل بازی	نوع- تجزیه وتحلیل	محقق
تخصیص عادلانه هزینه توسعه منابع آب میان بخش شهری و کشاورزی	ژاپن	همکارانه	کمی	Suzuki and Nakayama (1976)
تخصیص هزینه پروژه توسعه منابع آب در میان ۱۸ شهر	سوئد	همکارانه	کمی	Young *et al.* (1980)
توسعه روش تنسی ولی[1] برای تخصیص هزینه‌های احداث سد در میان متقاضیان	ایالات متحده آمریکا	همکارانه	کمی	Straffin and Heaney (1981)
تخصیص مزایای استفاده مجدد از فاضلاب برای پروژه‌های آبیاری و شکل گیری یک همکاری فرضی بین شرکت‌های استفاده کننده از آب برای آبیاری مزارع	اسرائیل (فلسطین اشغالی)	همکارانه	کمی	Dinar *et al.* (1992)

1. Tennessee Valley

اهداف	مکان	روش حل بازی	نوع-تجزیه وتحلیل	محقق
توزیع عادلانه درآمد آب مشتق شده از زمین‌های کشاورزی	استرالیا	همکارانه	کمی	Tisdell and Harrison (1992)
تجزیه‌وتحلیل سازمان تأمین آب کالیفرنیا برای انتقال آب روستا به شهر	ایالات متحده آمریکا	همکارانه	کمی	Rosen and Sexton (1993)
توسعه راه‌حل‌هایی برای پیدا کردن عوامل بی فایده بر اساس اصول عدالت	مکان فرضی	همکارانه	کمی	Lejano and Davos (1995)
توسعه چارچوب نظریه‌های غیر تعاونی، چانه زنی‌های چند جانبه و سیاست‌های حوضه آب کالیفرنیا	ایالات متحده آمریکا	غیرهمکارانه و چانه-زنی	کمی	Adams *et al.* (1996)
ارزیابی ساختاری برای وارد کردن هزینه‌های کنترل آلاینده‌های زیست محیطی در کالیفرنیا	ایالات متحده آمریکا	همکارانه	کمی	Dinar and Howitt (1997)
تأثیر قیمت‌گذاری بر تخصیص آب شهری در میان مناطق و متقاضیان	مکان فرضی	همکارانه	کمی	Lippai and Heaney (2000)
مدل سازی مناقشات میان سهمیه‌های آبیاری، قیمت آب، اندازه مخزن در میان هفت بازیکن	فرانسه	غیر همکارانه	کمی	Thoyer *et al.* (2001) and Simon *et al*. (2007)

اهداف	مکان	روش حل بازی	نوع- تجزیه وتحلیل	محقق
تخصیص منفعت حاصل از یک رودخانه میان عوامل (کشورها)	مکان فرضی	همکارانه	کمی	Ambec and Ehlers (2008)
تخصیص عادلانه و کارآمد آب در میان کاربران در سطح حوضه	کانادا	همکارانه	کمی	Wang *et al.* (2008)
تخصیص اب در حوزه آبریز با ملاحظات توسعه	روسیه	همکارانه	تئوری و کمی	Natalia Kosolapova, *et al.* (2018)
مطالعه رفتار بهره برداران آبریز	چین	همکارانه، غیر همکارانه و تعادل تکاملی	کمی	Tiangui *et al.* (2019)

۳. معرفی حوضه آبریز رودخانه اترک و تعیین اجزای بازی میان ذی‌نفعان(تعریف بازیکنان، استراتژی‌ها و پیامدها)

۳-۱. حوضه آبریز رودخانه اترک

محدوده حوضه آبریز رودخانه اترک، سه استان گلستان، خراسان شمالی و خراسان رضوی را به ترتیب، از غرب به شرق در بر می‌گیرد. این حوضه از شمال، به حوضه ترکمنستان، از جنوب، به حوضه گرگانرود و کالشور، از شرق، به حوضه قره قوم و از غرب، به دریای مازندران منتهی می شود. مساحت کل حوضه آبریز اترک داخل ایران، ۲۶۴۳۰ کیلومتر مربع است که استان خراسان رضوی، ۱۸۵۲ کیلومتر

مربع، خراسان شمالی، ۱۶۴۱۸ کیلومتر مربع و گلستان، ۸۱۶۰ کیلومتر مربع از سطح داخلی حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. حوضه، شامل شش محدوده مطالعاتی به نام های داشلی برون– اینچه برون و مرواه تپه در استان گلستان، مانه، بجنورد و قوچان‌شیروان در استان خراسان شمالی و همچنین محدوده سد تبارک آباد قوچان در اتان خراسان شمالی است. سدهای تبارک آباد، شورک، آلاگل، شیروان، شیرین دره و چری، ۶ سد درحال بهره‌برداری هستند که در نقشه راه رودخانه اترک به تفکیک آمده است.

مهمترین روخانه دائمی و اصلی در این منطقه، رودخانه اترک است. رودخانه اترک، از ارتفاعات شمال شرق قوچانسر چشمه گرفته و از مشرق به مغرب به طول حدود ۵۲۰ کیلومتر در بخش کوهستانی حوضه آبریز اترک جریان می‌یابد که حدود ۶۷ کیلومتر آن در دشت شیروان می‌باشد. سپس به رود سومبار که از خاک ترکمنستان سرچشمه می گیرد، متصل شده و جهت جریان آن، به جنوب غربی تمایل یافته و به ناحیه دریاچه های دانشمند، اجیگل، آلاگل در استان گلستان متصل می‌شود. در ادامه، رودخانه در جهت مغرب جریان یافته و تا حوالی دریای خزر امتداد پیدا می‌کند. (گزارش بازنگری شناسایی منابع آب سطحی مطالعات حفاظت کیفی منابع آب دشتهای استان خراسان شمالی (جلد دوم)، ۱۳۸۳)

۱-۱-۲. حوضه آبریز رودخانه اترک در محدوده استان گلستان

استان گلستان در بخشی از حوضه آبریز دریای خزر واقع شده است. کل پتانسیل آب استان، ۲۴۸۵ میلیون متر مکعب است که شامل ۱۲۳۵ م. م. م. پتانسیل آب سطحی و ۱۲۵۰ م. م. م. پتانسیل آب زیرزمینی است. طول کل رودخانه‌های استان ۲۷۰۰ کیلومتر است که شامل تعداد ۴۴ سرشاخه اصلی است که در ۵ حوضه آبریز

استان جریان دارند. حوضه‌های آبریز استان، شامل حوضه‌های آبریز اترک، گرگانرود، قره‌سو، شرق خلیج گرگان و نکارود علیا است.

بخشی از حوضهٔ آبریز اترک که در استان گلستان قرار دارد، با وسعت ۷۹۲۰ کیلومتر مربع، ۴۱ درصد سطح استان گلستان را تشکیل می‌دهد. بخش عمدهٔ این حوضه در استان‌های خراسان رضوی و خراسان شمالی و کشور ترکمنستان واقع گردیده و بخش دیگر آن، در استان گلستان قرار دارد. رودخانهٔ اترک در استان گلستان، رودخانه‌ای پیر با اختلاف ارتفاع کم است. برخی سرشاخه‌های شرقی و شمالی بویژه سومبار که از کشور ترکمنستان در منطقهٔ مرزی چات به اترک پیوسته و رودخانهٔ مرزی را به طول ۸۰ کیلومتر تشکیل می‌دهد.

با توجه به گزارش‌های موجود حدود ده میلیون متر مکعب از آب‌های سطحی استان یعنی یک درصد در حوضه آبریز نکارود، چهل میلیون متر مکعب یعنی ۲/۳ درصد در حوضه آبریز خیلج گرگان، صد میلیون متر مکعب یعنی ۸ درصد در حوضه آبریز قره سو و ۸۲۸ میلیون متر مکعب یعنی ۶۷ درصد در حوضه آبریز گرگانرود قرار دارد. بنابراین، ۲۱/۷ درصد از آب‌های سطحی استان در حوضه آبریز رودخانه اترک بوده، و کل میزان آب سطحی استان گلستان، ۱۲۳۵ میلیون متر مکعب برآورد شده است. این اطلاعات در ادامه در خصوص تخصیص مقدار حق‌آبه میان استان‌ها بسیار مورد توجه قرار خواهند گرفت (شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان, ۱۳۹۵).

۳-۱-۱. حوضه آبریز رودخانه اترک در محدوده استان خراسان شمالی

استان خراسان شمالی، از شمال با کشور ترکمنستان، از شرق و جنوب با استان خراسان رضوی، از جنوب غربی با استان سمنان و ازغرب با استان گلستان هم مرز، دارای مساحتی معادل ۲۸۱۷۹ کیلومتر مربع و دارای هشت شهرستان است. استان

خراسان شمالی، در شمال حوضه‌های آبریز قره‌قوم و حوضه آبریز کویر مرکزی و حوضه آبریز گرگان رود و اترک قرار دارد، به علت وسعت زیاد حوضه رودخانه اترک، در این تحقیق، از وجود حوضه‌های آبریز دیگر صرف‌نظر شده است.

۴-۱-۱. حوضه آبریز رودخانه اترک در محدوده استان خراسان رضوی

قسمت کمی از این حوضه، در استان خراسان رضوی قرار دارد و به شهرستان قوچان محدود می‌شود؛ ولی شهرستان قوچان با توجه به ظرفیت‌های بالای تولیدی در سطح کشور و آنکه نخستین منطقه برداشت آب در مسیر رودخانه اترک است، به عنوان مصرف کننده‌ای مهم تلقی می‌شود. شهرستان قوچان دارای دو بخش و دو شهر است و مساحتی بالغ بر ۳۸۵۴ کیلومتر مربع دارد؛ یعنی معادل سه درصد از مساحت استان خراسان رضوی (فرمانداری شهرستان قوچان, ۱۳۹۵). با توجه به آنکه استان خراسان رضوی، موقعیت اقلیمی خاص خود را دارد و پراکندگی جریان‌های آب سطحی و بارندگی در آن زیاد است، لذا برای رسیدن به نتیجه مطلوب، در مدل داده‌های مربوط به میزان آب تخصیص داده شده به شهرستان، به تفکیک مورد بررسی قرار می‌گیرد.

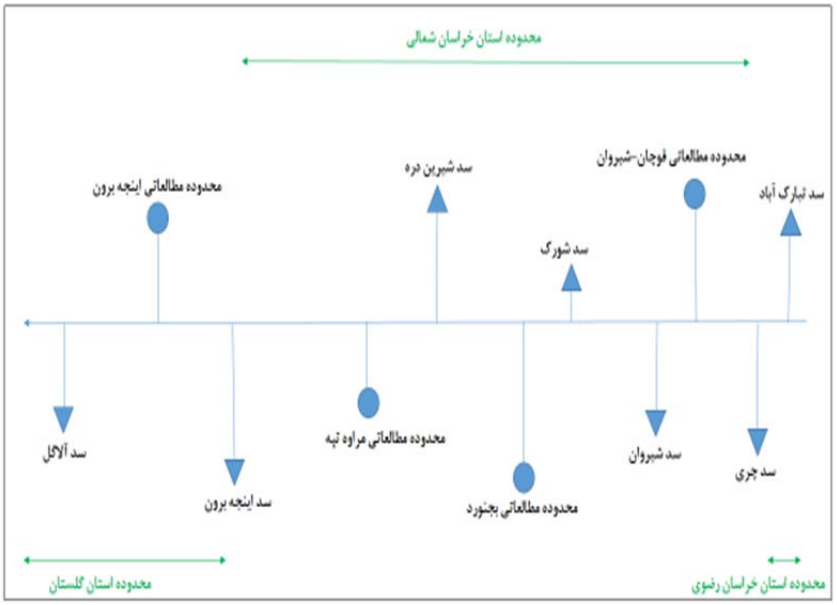
۲-۱. رسم نمودار خطی محدوده مورد مطالعه

با توجه به تمامی توضیحات، می‌توان مسیر رودخانه اترک را برای سادگی در یک نمودار خطی[1] نشان داد. نمودار خطی زیر، تمامی گره‌های تقاضا و منابع آب واقع در مسیر رودخانه اترک را به تفکیک نشان می‌دهد. گره‌های تقاضا، شامل تقاضا در بخش کشاورزی، صنعت و مصارف شهری و زیست محیطی است. اطلاعات مربوط به مصرف آب در گره‌های تقاضا، به شکل بهره‌برداری از انهار (شق نهر)، استفاده از

1. Line graph

موتور پمپ‌های سیار، موتورهای پمپاژ ثابت و بهره‌برداری از سدها محاسبه شده است. بهره‌برداری از انهار یا همان شق نهر و استفاده از موتور پمپ‌های متحرک، روش‌هایی است که به شکل بومی در این منطقه توسط مردم و کشاورزان به شکل وسیعی انجام می‌گیرد. اطلاعات مربوطه در بخش‌ها و به روش متفاوت، با همکاری شرکت مدیریت منابع آب ایران به‌دست آمده است.

شکل ۱. نمودار خطی محل گره‌های تقاضا آب در حوضه آبریز اترک

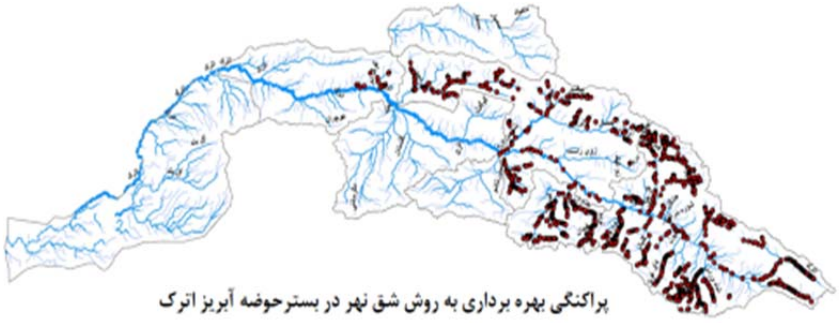


۳-۱. آمار و اطلاعات

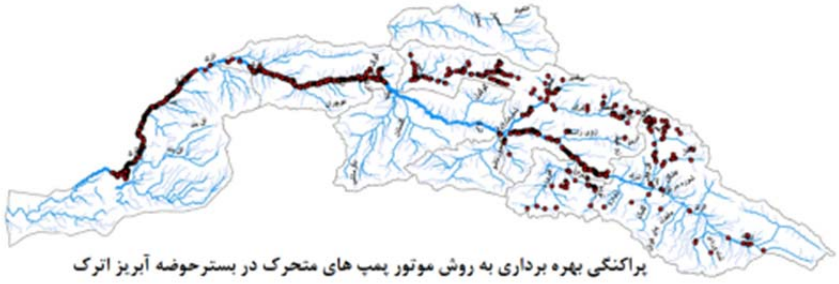
اطلاعات مربوط به بهره‌برداری از حوضه رودخانه اترک به تفکیک شامل بهره‌برداری از انهار (شق نهر)، استفاده از موتور پمپ‌های سیار، موتورهای پمپاژ ثابت و بهره‌برداری از سدها است که به صورت میانگین مصرف سالانه در سال‌های ۸۶ الی ۹۲ درج شده‌اند. همان طور که مشاهده می‌کنید، دو روش شق نهر و موتور

پمپ‌های متحرک در استان خراسان شمالی بسیار معمول است؛ درحالی‌که در استان گلستان، بیشتر از روش موتور پمپاژهای ثابت استفاده می‌شود. شکل‌های زیر، هرکدام نشان دهنده یکی از روش‌های بهره‌برداری در این منطقه و چگونگی پراکندگی آنها است. و همچنین سدهایی که در مسیر رودخانه قرار دارد نیز نشان داده شده‌اند که در میان آنها، متأسفانه هیچ داده‌ای برای سد کرند، سد تبارک و سد شورک در سازمان منابع آب ایران، ثبت نشده است. نقشه‌های زیر، با استفاده از نرم افزار GIS و داده‌های مورد استفاده در همین تحقیق، رسم شده است.

شکل ۲. پراکندگی بهره‌برداری به روش شق‌نهر در بستر حوضه آبریز اترک



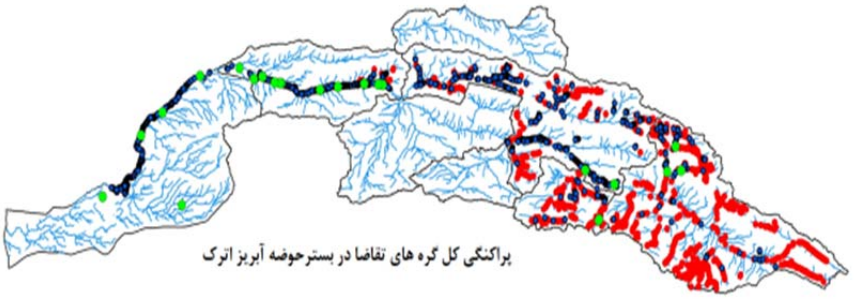
شکل ۳. پراکندگی بهره‌برداری به روش موتور پمپ در بستر حوضه آبریز اترک



شکل ۴. پراکندگی بهره‌برداری به روش موتور پمپاژهای ثابت در بستر حوضه آبریز اترک

شکل ۵. پراکندگی بهره‌برداری سدها در بستر حوضه آبریز اترک

شکل۶. پراکندگی کل گره‌های تقاضا در بستر حوضه آبریز اترک



جدول ۲. تقاضای آب بر حسب میلیون متر مکعب برای بخش کشاورزی در گره های تقاضا

ردیف	شهرستان	شق نهر	موتور پمپ متحرک	موتورپمپ ثابت	سد	کل
۱	مراوه تپه	۶۴۳۰۳/۲	۱۷۷۶۳۴۳۴	۶۸۰۴۰	-	۱۷۸۹۵۷۷۷/۲
۲	مانه	۷۱۲۹۰۰۶۴	۵۴۱۷۹۶۰	۶۲۶۴	۲۳/۳۸۷۴	۷۶۷۱۴۳۱۱/۳۸۷۴
۳	بجنورد	۲۰۳۸۶۰۰۰	۱۱۷۳۶۰	۳۹۱۲۴/۸	-	۲۰۵۴۲۴۸۴/۸
۴	شیروان	۵۴۷۹۱۰۶۰	۱۵۳۱۳۶/۸	۳۲۳/۸۷۹	۱۶/۶۸۷۸	۵۵۲۶۸۰۹۲/۴۸۸۷
۵	قوچان	۳۰۳۸۵۵۴۵	۷۷۹۷۶	-	-	۴۰۴۶۳۵۲۱
۶	فاروج	۲۸۹۵۸۶۸۲	۲۸۸	-	۱/۹۰۳۲	۲۸۹۵۸۹۰/۹۰۳۲
۷	داشلی برون واینچه برون (گنبد)	-	۲۶۷۸۵۴۸۴	-	۸/۵۲۸	۲۶۷۸۵۴۹۲/۵۲۸

جدول ۳. تقاضای آب بر حسب میلیون متر مکعب در دیگر بخش‌ها به انضمام بخش کشاورزی در هر گره تقاضا

ردیف	شهرستان	کشاورزی	دیگر مصارف (شهری، آشامیدنی، صنعتی و زیست محیطی)
۱	مراوه تپه	۱۷۸۹۵۷۷۷/۲	-
۲	مانه	۷۶۷۱۴۳۱۱/۳۸۷۴	۵
۳	بجنورد	۲۰۵۴۲۴۸۴/۸	۲۰
۴	شیروان	۵۵۲۶۸۰۹۲/۴۸۸۷	۰/۱۲۴۷
۵	قوچان	۴۰۴۶۳۵۲۱	-
۶	فاروج	۲۸۹۵۸۹۰/۹۰۳۲	۰/۰۲۶
۷	داشلی برون اینچه برون (گنبد)	۲۶۷۸۵۴۹۲/۵۲۸	-

با توجه به آنکه مصارف بخش صنعتی، شهری، آشامیدنی و فضای سبز، نسبت به مصارف بخش کشاورزی بسیار کم است، در این تحقیق، از آن چشم پوشی می‌کنیم.

در مسیر رودخانه اترک، سدهای چری، بارزو، شیرین دره، آلاگل و آلماگل، اینجه برون و داشلی برون، کرند، تبارک و شورک وجود دارد که از آنها بهره‌برداری می‌شود. سد بارزو در شمال شهر شیروان قرار دارد و به منظور تأمین آب کشاورزی، صنعت و شرب ساخته شده است. سد شیرین دره در شمال غربی شهر بجنورد ساخته شده است و به منظور تأمین آب بخش کشاورزی و صنعت مانه و آشامیدنی بجنورد، از آن استفاده می‌شود. سد چری در ده کیلومتری فاروج، با هدف تأمین مصارف کشاورزی، صنعت و کنترل سیلاب، و سد آلاگل در نزدیکی شهر گنبد و در خارج بستر رودخانه اترک، به منظور کنترل سیلاب و مصارف کشاورزی و صنعتی و آبزی پروری احداث شده است. سد داشلی برون و اینجه برون سدی با اهداف تأمین آب کشاورزی، صنعتی و آبزی پروری در شهرستان گنبد می‌باشد.

جدول ۴. مصارف آب بر حسب میلیون لیتر مربع به تفکیک سدها

نام سد	مصرف کشاورزی	سایر مصارف
بارزو	۱۶/۶۸۸۷	۰/۱۲۴۷ (صنعت)
شیرین دره	۲۳/۳۸۷۴	۵ (صنعت) و ۲۰ (آشامیدنی)
چری	۱/۹۰۳۲	۰/۰۲۶ (صنعت)
آلاگل	۰/۰۲۸	-
داشلی برون و اینچه برون(گنبد)	۸/۵	-

۴-۱. طراحی اجزای بازی میان ذی‌نفعان

پس از آشنایی با محدوده جغرافیایی حوضه آبریز مورد نظر، دانستیم که سه استان گلستان، خراسان شمالی و خراسان رضوی، ذی‌نفعان اصلی در این بازی خواهند بود و هفت گره اصلی که شامل شهرستان‌های مراوه تپه، مانه و سلمقان،

بجنورد، شیروان، قوچان، فاروج و داشلی برون و اینجه برون در حوضه آبریز رودخانه اترک قرار می‌گیرند که از میان آنها، شهرستان‌های مراوه تپه و داشلی برون و اینچه برون در استان گلستان و شهرستان‌های بجنورد، شیروان، فاروج و مانه در استان خراسان شمالی و شهرستان قوچان، در خراسان رضوی قرار دارند. در واقع سه بازیکن اصلی، استان گلستان، خراسان شمالی و خراسان رضوی خواهند بود که بازی با آنها شکل خواهد گرفت.

۱-۴-۱. تعیین میزان مصرف آب برای هر بازیکن

بنابراین به طور کلی، می‌توان مصرف در گره‌های تقاضا (شهرستان ها) را این چنین نوشت:

$$D1.\ D2.\ D3.\ D4.\ D5.\ D6.\ D7$$

و مصرف در هر یک از استان‌ها و یا برای هر یک از بازیکنان به شرح زیر است:

$D_1^T = D1 + D7$ برای بازیکن ۱ (استان گلستان):

$D_2^T = \mathrm{D2} + \mathrm{D3} + \mathrm{D4} + \mathrm{D6}$ برای بازیکن ۲ (استان خراسان شمالی):

$D_3^T = \mathrm{D5}$ برای بازیکن ۳ (استان خراسان رضوی):

$$D_1^T = 44681269/728$$
$$D_2^T = 181483820/5793$$
$$D_3^T = 40463521$$

۱-۴-۲. تعیین میزان شاخص بهره‌وری آب در بخش کشاورزی در هر استان

دو نوع شاخص در خصوص تعیین میزان بهره‌وری آب در بخش کشاورزی وجود دارد: یکی شاخص‌های درونی[۱] که ملاک آن، پارامترهای دورن یک سیستم کشاورزی

۱. Internal indicators

است؛ مانند زمان آبیاری یا نحوه آبیاری و غیره. دیگری شاخص‌های بیرونی[1] بوده که این شاخص‌ها برای نشان‌دادن ارتباط بین ستانده‌ها و نهاده‌ها در یک سیستم به کار برده می‌شوند و در عین سادگی، اطلاعات مفیدی از نحوه عملکرد سیستم در اختیار ما قرار می‌دهند و در صورتی که اطلاعات ریزتری در دسترس باشد، می‌توانند بیانگر نحوه انجام فرایندهای درونی سیستم نیز باشند و مشکلات شاخص‌های درونی را هم ندارند.

بهره‌وری در یک تعریف کلی، به مقدار ستانده ایجاد شده در یک سیستم در ازای مصرف یک واحد نهاده می‌گویند. در بحث بهره‌وری آب در شبکه‌های آبی از کل نهاده‌های مؤثر در تولید محصولات کشاورزی فقط نهاده آب در نظر گرفته می‌شود (زیدعلی, ۱۳۸۲).

نخستین شاخص از شاخص‌های بیرونی بهره‌وری آب، شاخص تولید محصول به ازای یک متر مکعب است (CPD) و یا محصول در قطره[2] میزان تولید کشاورزی نسبت به حجم آب مصرف شده را درنظر می‌گیرند. بنابراین، هرچه این نسبت بیشتر باشد، مصرف به شکل صحیح تری انجام می‌گیرد (Kohansal 2013).

$$CPD = P/A$$

A = water volume consumed in HA irrespective of precipitation (m3)
P = the amount of product produced or amount of yield (kg/ha)

CPD را می‌توان برای یک محصول یا مجموع چند محصول و یا حتی کل تولیدات کشاورزی به‌کار برد، ولی احتمال اینکه هرچه تنوع محصولات بیشتر شود، مقدار خطا بیشتر می‌گردد، باید توجه داشت (زیدعلی, ۱۳۸۲).

---

۱. External indicators.
۲. Crop Per Drop.

دومین شاخص، شاخص ارزش به ازای یک متر مکعب آب است و یا ارزش ناخالص تولید هر محصول کشاورزی در منطقه مورد نظر[1](BPD).

$$BPD = V/A$$

V = The amount of the total value of product sales (main and minor) (RLS)

سومین شاخص، شاخص سود خالص محصول به ازای مصرف یک متر مکعب آب است (NBPD).

$$NBPD = B/A$$

B = gross profit rate/ha (RLS)

(Kohansal, 2013)

در این مقاله، چون مقدار ارزش افزوده بخش کشاورزی در محدوده مورد مطالعه در دسترس بوده، و کارآیی بیشتر شاخص ارزش بر شاخص مقدار تولید، از شاخص BPD برای محاسبه بهروری بخش کشاورزی در هر استان، استفاده شده است.

برای این منظور، با استفاده از داده‌های تفکیک شده حساب‌های ملی ایران (بانک مرکزی) مربوط به تولید ناخالص داخلی GDP[2]، مقدار ارزش تولیدات کشاورزی در هر استان را به‌دست آوردیم. و در مورد استان خراسان رضوی، به علت آنکه طبق داده‌های سایت فرمانداری قوچان (فرمانداری شهرستان قوچان, ۱۳۹۵) سهم تولیدات زراعی شهرستان از استان ۳/۳۷ درصد است و بنابراین، میزان تولیدات بخش کشاورزی استان ملاک قرار گرفته، و در مورد استان گلستان نیز چون میزان ۲۱/۷ درصد از منابع آب سطحی استان را آبهای حوضه آبریز اترک تشکیل داده است، فرض بر آن شده که به همین نسبت، تولیدات کشاورزی استان گلستان در محدوده حوضه آبریز اترک، انجام خواهد گرفت.

1. Benefit Per Drop
2. Gross Domestic Product

در نتیجه، شاخص بهره‌وری در استان‌های محدوده مورد مطالعه برای بازیکن اول، دوم و سوم، به شکل زیر محاسبه شدند:

$$BPD_1 = GDP_1 / D_1 + D_2$$
$$BPD_1 = \frac{3469088/07}{44681269/728} = 0/0776$$
$$BPD_2 = GDP_2 / D_2 + D_3 + D_4 + D_6$$
$$BPD_2 = \frac{7180258}{181483820.5793} = 0.0395$$
$$BPD_3 = GDP_3 / D_5$$
$$BPD_3 = \frac{1097699}{40463521} = 0.027$$

۳-۴-۱. تعیین میزان مصرف آب بهینه برای بازیکنان

به منظور دستیابی به میزان مصرف بهینه برای هر بازیکن، از شاخص بهره‌وری استان‌ها استفاده به عمل آمده، و در نتیجه، کل منابع آب در دسترس در حوضه آبریز اترک برای متقاضیان، به نسبت میزان بهره‌وری آنها به آنان، تخصیص داده شده است.

$$BPD_1 = 53/8\%$$
$$BPD_2 = 27/3\%$$
$$BPD_3 = 18/9\%$$

بنابراین میزان حق‌آبه هر بازیکن در حالت بهینه، به شرح زیر خواهد بود:

$$D_T = 266628611/3073$$

مقادیر مصرف بهینه هر بازیکن) $\Rightarrow$ ۱۴۳۹۷۹۴۵۰/۱۰۵۹) $\rightarrow$ ۱

۷۱۹۸۹۷۲۵/۰۵۲۹ $\rightarrow$ (۲)

۵۰۶۵۹۴۳۶/۱۴۸۳ $\rightarrow$ (۳)

۴-۴-۱. تعریف استراتژی‌های بازیکنان

در حال حاضر، هرکدام از بازیکنان با دو استراتژی روبرو هستند: یکی، برداشت آب به شکل قبلی و غیر بهینه و دیگری، برداشت آب در حالت بهینه، که در صورت برداشت آب به شکل بهینه، پیامد بازیکنان یک و سه، یعنی استان گلستان و خراسان رضوی، افزایش و پیامد استان خراسان شمالی، به شدت کاسته می‌شود.

۲. طراحی بازی همکارانه به منظور تخصیص بهینه منابع آب در حوضه آبریز رودخانه اترک

۲-۱. تعریف استراتژی و بازیکنان و ائتلاف‌های بازی همکارانه

با توجه به توضیحات داده شده در مورد بازی همکارانه و شرایط جغرافیای حوضه آبریز رودخانه اترک، اکنون می‌توان یک بازی همکارانه میان ذی‌نفعان در منابع آبی محدوده مورد مطالعه، طراحی کرد.

با توجه با آنکه محدوده حوضه آبریز رودخانه اترک، سه استان گلستان، خراسان شمالی و خراسان رضوی را به ترتیب، از غرب به شرق در بر می‌گیرد، بنابراین، سه استان را به عنوان سه بازیکن در نظر گرفتیم که هرکدام می‌توانند، دو استراتژی را انتخاب کنند. یکی، اینکه در سطح بهینه از منبع آب، آب برداشت نمایند که در این بازی، به آن، استراتژی یک اطلاق می‌شود و دیگر، آنکه در سطح غیر بهینه، آب برداشت کنند که استراتژی دو برای هر بازیکن است. بنابراین:

(۱) استراتژی بهینه (۲) استراتژی غیر بهینه

بنابراین در این بازی، سه بازیکن $N = \{1.2.3\}$ داریم که می‌توانند به ازای هر زیرمجموعه از N در صورتی که تهی نباشد، ائتلاف تشکیل دهند و خود مجموعه نیز ائتلاف جمعی خواهد بود. ائتلاف‌های ممکن در این بازی {۱} و {۲} و {۳} و {۱، ۲} و {۱، ۳} و {۲، ۳} و {۱، ۲، ۳} هستند. نکته‌ای که در این میان باید توجه

داشت، آنکه منبع مورد استفاده بازیکنان، در مطالعه منبع آب بوده، که به شکل جاری است و یک محدودیتی برای مصرف خواهد داشت؛ یعنی اگر کل منبع آب مورد نظر را W فرض کنیم، میزان برداشت آب هر سه بازیکن، باید برابر این مقدار باشد. در نتیجه، در میان ائتلاف‌ها، حالت‌هایی وجود خواهد داشت که در واقعیت، اتفاق نمی‌افتد. در ادامه، حالت‌های مختلف ائتلاف‌ها نشان داده خواهد شد و در صورت عدم مطابقت با این قید، از بازی حذف می‌شوند.

۲-۲. فرم استراتژیک و فرم مشخصه بازی میان استان ها

برای تشکیل فرم استراتژیک بازی، هر یک از ائتلاف‌ها را در نظر می‌گیریم. به عنوان مثال، ائتلاف S از میان ائتلاف‌ها انتخاب می‌شود، در نتیجه، یک بازی غیرهمکارانه میان ائتلاف S و دیگر بازیکنان شکل خواهد گرفت، به عبارتی، با توجه به استراتژی‌ها، بازیکنان ائتلاف S می‌توانند به هر مدل از ترکیب استراتژی میان خودشان که سود ائتلاف را برایشان حداکثر می‌کند، استفاده کنند و دیگر بازیکنان نیر در مقابل آن، از یکی از استراتژی‌های خود که برایشان منفعت بیشتری خواهد داشت، بهره خواهند برد. همان رویکردی که روزانه در مسائل بسیار زیادی در طبیعت، شاهد آن هستیم.

با حل فرم استراتژیک بازی، می‌توان فرم مشخصه بازی را به‌دست آورد. در ادامه، فرم استراتژیک برای هر یک از ائتلاف‌ها در نظر گرفته می‌شود و از آن فرم، مشخصه بازی استخراج خواهد شد.

فرم مشخصه بازی، عبارت است از $(N.V)$ که در ، N تعداد بازیکنان و V تابع مشخصه را نشان می‌دهد که پیامد حاصل از هر ائتلاف است.

- ائتلاف $\{۱، ۲\}$:

برای تعیین مقدار بهینه برای دو بازیکن شرکت کننده در ائتلاف مورد نظر، حجم کل منبع و برای هر یک از بازیکنان یک و دو، مقدار BPD آنها در نظر گرفته شده است. در نتیجه، حجم باقیمانده آب منبع بر حسب نوع استراتژی اتخاذ شده توسط بازیکن سه، بر اساس میزان بهره‌وری آب کشاورزی میان دو بازیکن شرکت کننده در ائتلاف، تخصیص داده شده است.

$$\mathrm{BPD}_1 = 077/0 \rightarrow 66/4\%$$
$$\mathrm{BPD}_2 = 039/0 \rightarrow 33/6\%$$

بنابراین، اگر استراتژی بازیکن سه، استفاده بهینه از منبع باشد، مقدار باقیمانده منبع برابر است با:

$$D^T = ۲۶۶$$
$$D^T - 50 = 216 \ . \ D_1 = 143/42 \ . \ D_2 = 72/57$$

و اگر استراتژی بازیکن سه، استفاده غیر بهینه از منبع باشد:

$$D^T - 40 = 226 \ . \ D_1 = 150/6 \ . \ D_2 = 75/93$$

انواع ائتلاف میان بازیکن یک و دو
(۱، ۱)
(۱، ۲)
(۲، ۱)
(۲، ۲)
زمانی که استراتژی بازیکن سه، غیر بهینه است:
D_1=۱۵۰ , D_2=۷۵ ,D_3=۴۰
زمانی که استراتژی بازیکن سه، بهینه است:
D_1=۱۴۳ , D_2=۷۳ ,D_3=۵۰
زمانی که استراتژی بازیکن سه، غیربهینه است:
(وجود ندارد)
زمانی که استراتژی بازیکن سه، بهینه است:
(وجود ندارد)
زمانی که استراتژی بازیکن سه، غیربهینه است:
D_1=۴۴ , D_2=۷۵ ,D_3=۴۰
زمانی که استراتژی بازیکن سه، بهینه است:
D_1=۴۴, D_2 =۷۳ D_3=۵۰
زمانی که استراتژی بازیکن سه، غیربهینه است:
D_1=۴۵, D_2=۱۸۱, D_3=۴۰
زمانی که استراتژی بازیکن سه، بهینه است:
D_1=۳۵, D_2=۱۸۱, D_3=۵۰

نتیجه بازی ائتلاف {۱، ۲} با بازیکن ۳:

توجه: پیامد ائتلاف {۱، ۲}برابر است با جمع پیامد دو بازیکن شرکت کننده در ائتلاف.

ائتلاف {۱، ۲} / بازیکن ۳	(۱، ۱)	(۲، ۱)	(۲، ۲)
استراتژی (۱)	۲۱۶، ۵۰	۱۶۰، ۵۰	۲۰۸، ۵۰
استراتژی (۲)	۲۲۴/۶، ۴۰	۱۱۹/۶، ۴۰	۲۲۶، ۴۰

مشاهده می‌شود که در بازی فوق برای بازیکن۳، استراتژی دو مغلوب استراتژی یک است و همچنین استراتژی (۲، ۱) مغلوب استراتژی (۲، ۲) و استراتژی (۲، ۲) نیز مغلوب استراتژی (۱، ۱) است. در نتیجه، تعادل نش بازی (۱، (۱، ۱)) خواهد بود و پیامد آنها برابر است با:

$$V(\{3\}) = 50$$
$$V(\{1.2\}) = 216$$

در این ائتلاف یعنی همکاری میان دو استان گلستان و خراسان شمالی، مقدار تخصیص آب میان استان‌ها به شکل زیر خواهد بود (ما برای سادگی حل بازی در هر یک از ائتلاف‌ها تنها دو عدد سمت چپ مقدار حق‌آبه بازیکنان وارد شده است.

استان گلستان	استان خراسان شمالی	استان خراسان رضوی
۱۴۳ (میلیون متر مکعب)	۷۳	۵۰

- ائتلاف {۱، ۳}:

میزان بهره‌وری آب کشاورزی دو بازیکن یک و سه و تخصیص منبع آب میان دو بازیکن به شرح زیر است:

$$\mathrm{BPD}_1 = 077/0 \rightarrow 74\%$$
$$\mathrm{BPD}_2 = 027/0 \rightarrow 26\%$$

بنابراین، اگر استراتژی بازیکن دو، استفاده بهینه از منبع باشد، مقدار باقی مانده منبع برابر است با:

$$D^T = ۲۶۶$$
$$D^T - 71 = 195 \ . \ D_1 = 145 \ . \ D_3 = 51$$

و اگر استراتژی بازیکن دو، استفاده غیر بهینه از منبع باشد:

$$D^T - 40 = 226 \ . \ D_1 = 150/6 \ . \ D_3 = 75/93$$

انواع ائتلاف میان بازیکن یک و سه
(۱، ۱)
زمانی که استراتژی بازیکن دو، غیربهینه است:
(وجود ندارد)
زمانی که استراتژی بازیکن دو، بهینه است:
D_1=۱۴۵, D_2=۷۰, D_3=۵۱
(۲، ۱)
زمانی که استراتژی بازیکن دو، غیربهینه است:
(وجود ندارد)
زمانی که استراتژی بازیکن دو، بهینه است:
D_1=۱۴۵, D_2=۷۰, D_3=۴۰
(۱، ۲)
زمانی که استراتژی بازیکن دو، غیربهینه است:
D_1=۳۵, D_2=۱۸۱, D_3=۵۰
زمانی که استراتژی بازیکن دو، بهینه است:
D_1=۱۳۸, D_2=۷۰, D_3=۵۰
(۲، ۲)
زمانی که استراتژی بازیکن دو، غیربهینه است:
D_1=۴۵, D_2=۱۸۱, D_3=۴۰
زمانی که استراتژی بازیکن دو، بهینه است:
D_1=۱۵۶, D_2=۷۰, D_3=۴۰

نتیجه بازی ائتلاف $\{۱، ۳\}$ با بازیکن۲:

ائتلاف $\{۱، ۳\}$ / بازیکن ۲	(۲، ۱)	(۲، ۲)
استراتژی (۱)	۱۸۶، ۷۰	۱۹۶، ۷۰
استراتژی (۲)	۱۸۱، ۸۵	۱۸۱، ۸۵

مشاهده می‌شود که برای بازیکن دو، استراتژی یک، مغلوب استراتژی دو است. در نتیجه، تعادل نش بازی (۲، (۲، ۲)) و (۲، (۱، ۲)) خواهد بود و پیامد ناشی از آن برای بازیکنان، برابر است با:

$$V(\{2\}) = 181$$
$$V(\{3.1\}) = 85$$

استان گلستان	استان خراسان شمالی	استان خراسان رضوی
۴۵ (میلیون متر مکعب)	۱۸۱	۴۰

- ائتلاف $\{۲، ۳\}$:

میزان بهره‌وری آب کشاورزی دو بازیکن یک و سه و تخصیص منبع آب میان دو بازیکن، به شرح زیر است:

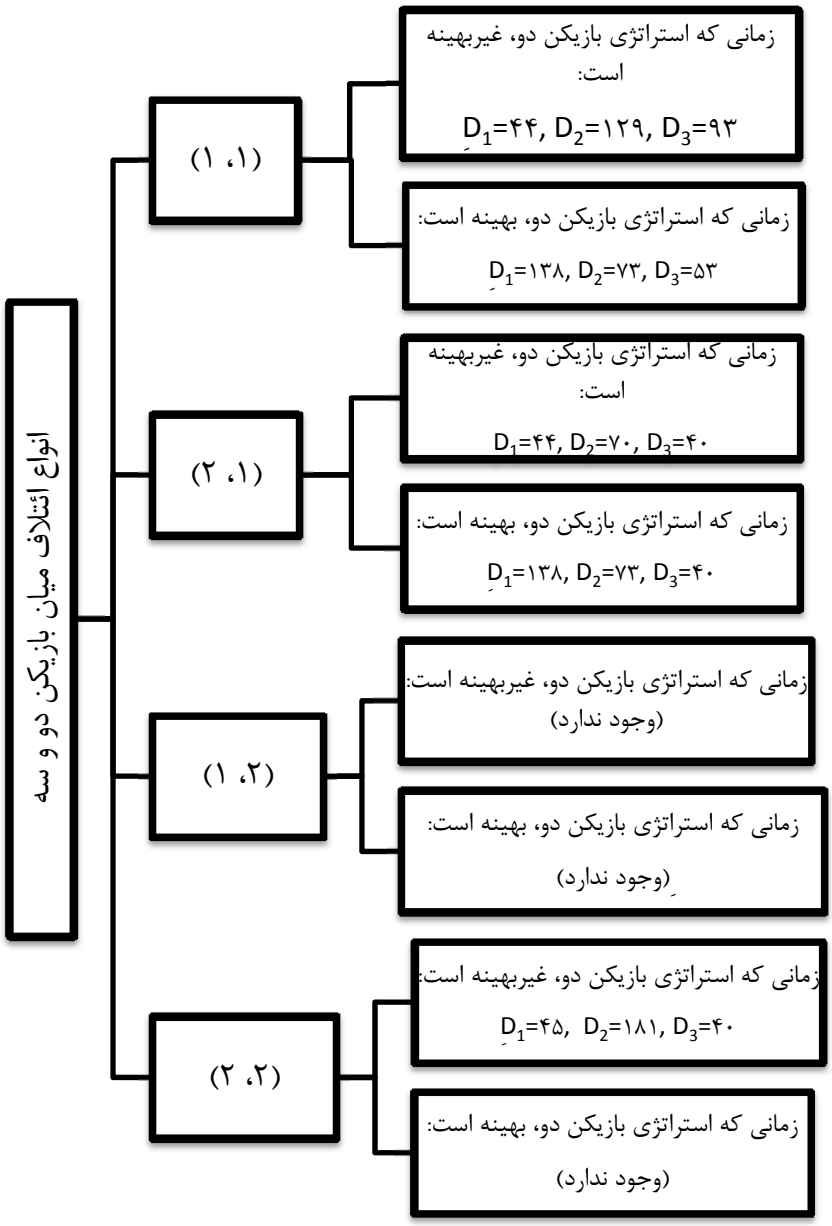
$$\mathrm{BPD}_2 = 037/0 \rightarrow 58\%$$
$$\mathrm{BPD}_3 = 027/0 \rightarrow 42\%$$

بنابراین، اگر استراتژی بازیکن یک، استفاده بهینه از منبع باشد، مقدار باقیمانده منبع برابر است با:

$$D^T = ۲۶۶$$
$$D^T - 138 = 126 \ . \ D_2 = 73 \ . \ D_3 = 53$$

و اگر استراتژی بازیکن یک استفاده غیر بهینه از منبع باشد:

$$D^T - 44 = 222 \ . \ D_2 = 129 \ . \ D_3 = 93$$


انواع ائتلاف میان بازیکن دو و سه
(۱، ۱)
(۲، ۱)
(۱، ۲)
(۲، ۲)
زمانی که استراتژی بازیکن دو، غیربهینه است:
D_1=۴۴, D_2=۱۲۹, D_3=۹۳
زمانی که استراتژی بازیکن دو، بهینه است:
D_1=۱۳۸, D_2=۷۳, D_3=۵۳
زمانی که استراتژی بازیکن دو، غیربهینه است:
D_1=۴۴, D_2=۷۰, D_3=۴۰
زمانی که استراتژی بازیکن دو، بهینه است:
D_1=۱۳۸, D_2=۷۳, D_3=۴۰
زمانی که استراتژی بازیکن دو، غیربهینه است:
(وجود ندارد)
زمانی که استراتژی بازیکن دو، بهینه است:
(وجود ندارد)
زمانی که استراتژی بازیکن دو، غیربهینه است:
D_1=۴۵, D_2=۱۸۱, D_3=۴۰
زمانی که استراتژی بازیکن دو، بهینه است:
(وجود ندارد)

نتیجه بازی ائتلاف {۲، ۳} با بازیکن۱:

ائتلاف {۲، ۳} / بازیکن ۱	(۱، ۱)	(۲، ۱)
استراتژی (۱)	۱۳۸، ۱۲۶	۱۳۸، ۱۱۳
استراتژی (۲)	۴۴، ۲۲۲	۴۴، ۱۱۰

مشاهده می‌شود که استراتژی (۲، ۱) نسبت به (۱، ۱) برای ائتلاف مورد نظر، مغلوب است و سپس استراتژی ۲ برای بازیکن یک، نسبت به استراتژی ۱، مغلوب است. بنابراین، تعادل نش بازی (۱، (۱، ۱)) خواهد بود و پیامد حاصل از آن برای بازیکنان، به شکل زیر است:

$$V(\{1\}) = 138$$
$$V(\{3.2\}) = 126$$

استان گلستان	استان خراسان شمالی	استان خراسان رضوی
۱۳۸ (میلیون متر مکعب)	۷۳	۵۳

- ائتلاف {۱، ۲، ۳}:

این ائتلاف، زمانی شکل می‌گیرد که تمام بازیکنان به جای رقابت، همکاری کنند. بنابراین، پیامد این ائتلاف، جمع تمام پیامدهای بازیکنان در اثر همکاری است:

$$V(N) = MAX\,U = MAX \sum_{i=1}^{n} Ui(a)$$
$$V(N) = V\{1.2.3\} = 138 + 70 + 48 = 266$$

استان گلستان	استان خراسان شمالی	استان خراسان رضوی
۱۴۳ (میلیون متر مکعب)	۷۱	۵۰

۳-۲. تعیین ارزش شپلی برای بازیکنان و بردار شپلی برای بازی مشراکتی

در بحث گذشته، تمام ائتلاف‌های بازیکنان مشخص، و مقدار تابع مشخصه آنها محاسبه شده است. با استفاده از آنها، می‌توان ارزش شپلی را برای بازیکنان ۱، ۲ و ۳ به‌دست آورد. جداول زیر، نشان دهنده ارزش شپلی برای هر بازیکن است.

جدول ۵. ارزش شپلی بازیکن ۱

ائتلاف‌ها	$\|s\|$	$A = [V(S) - V(S\{i\})]$	$B = (\|s\| - ۱)!\,(n - \|s\|)!/n!$	A*B
{۱}	۱	$V(\{۱\}) - V(\{۰\})$	$(۱ - ۱)!\,(۳ - ۱)!/۳! = ۳/۱$	۳۱/۳
{۱ ،۲}	۲	$V(\{۱ ،۲\}) - V(\{۲\})$	$(۱ - ۲)!\,(۲ - ۳)!/۳! = ۶/۱$	۵/۸
{۱ ،۳}	۲	$V(\{۱ ،۳\}) - V(\{۳\})$	$(۱ - ۲)!\,(۲ - ۳)!/۳! = ۶/۱$	۵/۸
{۱ ،۲ ،۳}	۳	$V(\{۱ ،۲ ،۳\}) - V(\{۲ ،۳\})$	$(۱ - ۳)!\,(۳ - ۳)!/۳! = ۳/۱$	۱۳/۳

$$Q_i(v) = \sum_{\substack{S \cup N \\ i \cup S}} (|s| - 1)!\,(n-1)!\;[V(s) - V(s - \{i\}]\,/n\,!$$

$$Q_1(V) = 31/3 + 5/8 + 5/8 + 13/3 = 56/2$$

$$Q_1(V) = 56/2$$

جدول ۶. ارزش شپلی بازیکن ۲

ائتلاف‌ها	$\|s\|$	$A = [V(S) - V(S\{i\})]$	$B = (\|s\| - ۱)!\,(n - \|s\|)!/n!$	A*B
{۲}	۱	$V(\{۲\}) - V(\{۰\})$	$(۱ - ۱)!\,(۱ - ۳)!/۳! = ۳/۱$	۰
{۱ ،۲}	۲	$V(\{۱ ،۲\}) - V(\{۱\})$	$(۱ - ۲)!\,(۲ - ۳)!/۳! = ۶/۱$	۱۳
{۲ ،۳}	۲	$V(\{۲ ،۳\}) - V(\{۳\})$	$(۱ - ۲)!\,(۲ - ۳)!/۳! = ۶/۱$	۱۲/۶
{۱ ،۲ ،۳}	۳	$V(\{۱ ،۲ ،۳\}) - V(\{۱ ،۳\})$	$(۱ - ۳)!\,(۳ - ۳)!/۳! = ۳/۱$	۶۰/۳

$$Q_2(V) = 13 + 12/6 + 60/3 = 85/9$$

$$Q_2(V) = 85/9$$

جدول ۷. ارزش شپلی بازیکن ۳

ائتلاف‌ها	$\|s\|$	$A = [V(S) - V(S\{i\})]$	$B = (\|s\| - ۱)!\,(n - \|s\|)!/n!$	A*B
{۳}	۱	V({۳}) − V({۰})	(۱ − ۱)! (۱ − ۳)!/۳! = ۳/۱	۳
{۱، ۳}	۲	V({۱، ۳}) − V({۱})	(۱ − ۲)! (۲ − ۳)!/۳! = ۶/۱	-۸/۸۳
{۲، ۳}	۲	V({۲، ۳}) − V({۲})	(۱ − ۲)! (۲ − ۳)!/۳! = ۶/۱	-۹/۱۶
{۱، ۲، ۳}	۳	V({۱، ۲، ۳}) − V({۱، ۲})	(۱ − ۳)! (۳ − ۳)!/۳! = ۳/۱	۱۷

$$Q_3(V) = 3 - 8/83 - 9/16 + 17 = 2/01$$
$$Q_3(V) = 2/01$$

بنابراین، می‌توان با استفاده از نتایج فوق، بردار ارزش شپلی را برای این بازی همکارانه به شکل زیر نوشت:

$$Q(V) = (Q1(V).\,Q2(V).\,Q3(V))$$
$$Q(V) = (56/2.\ \ 85/9.\ \ 2/01)$$

۴-۲. تخصیص پیامدها میان بازیکنان با استفاده از ارزش شپلی

در این مرحله، باید پیامد کل بازی را با توجه به بردار ارزش شپلی میان بازیکنان تقسیم کنیم. در این حالت، آنها حداقل انگیزه لازم برای مشارکت در بازی را خواهند داشت. برای به‌دست آوردن کل پیامد حاصل از ائتلاف جمعی بازیکنان، میزان حق‌آبه هر یک را در حالت بهینه در نظر می‌گیریم و میزان ارزش افزوده تولیدات کشاورزی با مصرف این میزان حق‌آبه را محاسبه می‌کنیم (اعداد فوق بر حسب میلیون تومان).

D^T= ۲۶۶۶۲۸۶۱۱/۳۰۷۳

$BPD_۱$= ۰/۰۷۷ $BPD_۲$= ۰/۰۳۹ $BPD_۳$= ۰/۰۲۷

$BPD_۱$= ۵۳/۸% $BPD_۲$= ۲۷/۳% $BPD_۳$= ۱۸/۹%

D_1= ۱۴۳۹۷۹۴۵۰/۱۰۵۹

D_2= ۷۱۹۸۹۷۲۵/۰۵۲۹

D_3= ۵۰۶۵۹۴۳۶/۱۴۸۳

بنابراین:

$D_۱$. $BPD_۱ = GDP_1$= ۱۱۰۸۶۴۱۷/۶۵۸۱

$D_۲$. $BPD_۲ = GDP_۲$= ۲۸۰۵۹۹/۲۷۷۰

$D_۳$. $BPD_۳ = GDP_۳$= ۱۳۶۷۸۰۴/۷۷۶۰

در نتیجه، کل پیامد حاصل از ائتلاف جمعی، برابر است با ۱۵۲۶۱۸۲۱/۷۱۱۱ یعنی، در صورت همکاری و مصرف آب در سطح بهینه، کل میزان درآمد از حوضه آبریز رودخانه اترک، به این میزان خواهد بود. و در شرایط مصرف آب توسط بازیکنان به صورت غیر بهینه (وضعیت فعلی)، میزان درآمد یا پیامد آنها، به شکل زیر است:

(در حالت غیرهمکارانه)

$$D_1^T = 44681269/728 \rightarrow 3469088/07$$
$$D_2^T = 181483820/5793 \rightarrow 718025 \quad \Rightarrow GDP^T = 11747045/07$$
$$D_3^T = 40463521 \rightarrow 1097699$$

بنابراین، میزان مازاد درآمد بازیکنان در صورت پیوستن به ائتلاف جمعی، برابر است:

$$GDPoptimal - GDPnonoptimal = 15261821/7111 - 11747045/07 = 3514776/6411$$

این میزان درآمد، باید بر اساس بردار شپلی، میان بازیکنان توزیع شود.

$$Q(V) = (Q_1(V), Q_2(V), Q_3(V))$$
$$Q(V) = (56/2.86.2)$$

یعنی سهم استان گلستان از درآمد مازاد ایجاد شده، ۳۹ درصد و سهم استان خراسان شمالی، ۵۹ درصد و سهم استان خراسان رضوی، ۲ درصد خواهد بود.

در نتیجه میزان درآمد مازاد برای هر یک از بازیکنان، در صورت پیوستن به ائتلاف جمعی، به شرح زیر است:

جدول ۸. مازاد درآمد هر بازیکن

استان گلستان	استان خراسان شمالی	استان خراسان رضوی
۱۳۷۰۷۶۲/۸۹	۲۰۷۳۷۱۸/۲۱	۷۰۲۹۵/۵۳۲

مازاد درآمد استان گلستان: ۳۵۱۴۷۷۶/۶۴۱۱، ۳۹ درصد؛

مازاد درآمد استان خراسان شمالی: ۳۵۱۴۷۷۶/۶۴۱۱، ۵۹ درصد؛

مازاد درآمد استان خراسان رضوی: ۳۵۱۴۷۷۶/۶۴۱۱، ۲ درصد.

توجه: در بازی مطرح شده در حوضه رودخانه اترک، بعد از تشکیل ائتلاف، می‌بینیم که سهم استان خراسان رضوی نسبت به سایر بازیکنان کمتر است که با توجه به آنکه، بخشی از استان رضوی که درگیر در این بازی بوده، تنها شهرستان قوچان است، حل خواهد شد.

۳. نتیجه‌گیری و ارائه توصیه‌های سیاستی

با توجه به نتایج به‌دست آمده از طرح یک بازی همکارانه میان استان‌های برداشت کننده آب از حوضه آبریز اترک و تفسیر ائتلاف جمعی میان آنها، دریافتیم که رویکرد همکارانه میان ذی‌نفعان در محدوده مطالعاتی مورد نظر، موجب افزایش درآمد سیستم خواهد شد و درآمد بیشتری نیز عاید استان‌های شرکت کننده در این ائتلاف می‌شود.

در نتیجه، استفاده از روش نظریه بازی همکارانه و توسعه آن در تخصیص منابع آب، موجب بهبود شرایط خواهد شد.

با توجه به تمام آنچه از ابتدای مقاله توضیح داده شده است، در حال حاضر، استان خراسان شمالی، بیشترین سهم را در بهره‌برداری از آب رودخانه اترک دارد که این موضوع، با توجه به مساحت استان خراسان شمالی در حوضه آبریز اترک، تا حدی قابل درک است؛ ولی میزان بهره‌وری آب در بخش کشاورزی در این محدوده، بسیار پایین‌تر از استان همجوار خود یعنی استان گلستان است. به عبارتی، استان خراسان شمالی با استفاده از روش‌های بهره‌برداری قدیمی و یا موتور پمپ‌های متحرک که بسیاری از آنها ممکن است دچار نقص فنی و یا قدیمی باشند، میزان بسیار زیادی آب مصرف می‌کند، درحالی‌که به نسبت، محصول کشاورزی کمتری تولید می‌کند؛ در حالی که استان گلستان با توجه به مقدار آب کمی که در رودخانه اترک و شاخه‌های آن، بعد از جاری شدن در استان خراسان شمالی و رسیدن به استان گلستان، باقی می‌ماند، میزان بهره‌وری بیشتری نسبت به تولیدات محصولات کشاورزی دارد؛ به‌طوری‌که مجبور شده تکنولوژی خود را بهبود دهد.

یادآور می‌شود که پراکندگی استفاده از موتور پمپ‌های ثابت و سدها به نسبت، در استان گلستان بیشتر است؛ درحالی‌که قسمت‌های شمالی و شرقی استان گلستان طبق گزارشات، از بحران آب رنج می‌برد. در نتیجه، استفاده از یک روش مشارکتی میان استان‌های ذی‌نفع در حوضه رودخانه اترک، نه تنها موجب افزایش درآمد در این حوضه خواهد شد، بلکه مشکل بحران آب در استان گلستان را تا حدی بهبود خواهد داد و مطمئناً سرعت تغییر اقلیم این منطقه، به اقلیمی گرمی و خشک را کم خواهد کرد.

اگر میان استان‌های سهیم در محدوده مطالعاتی، یک بازی مشارکتی انجام گیرد، درآمد کل سیستم افزایش خواهد یافت و سهم آب شهرستان قوچان و استان

گلستان که با کمبود آب مواجه‌اند، افزایش می‌یابد که در دیدگاه کلان، باعث افزایش درآمد ملی، و همچنین موجب بهبود وضعیت محیط زیست در حوضه آبریز رودخانه اترک خواهد شد. ولی این عملکرد، کاهش حق‌آبه تخصیص یافته به کشاورزان خراسان شمالی و در ابتدای امر، کاهش درآمد آنها را در پی دارد.

در این مقاله، با توجه به آنکه از روش حل ارزش شپلی استفاده شده است و استان خراسان شمالی برای شرکت در ائتلاف به میزان قابل توجهی مصرف آب خود را کاهش می‌دهد، در نتیجه، میزان سهم او از مازاد درآمد ایجاد شده، بیشتر از سایرین است و تقریباً ۵۰ درصد از کل مازاد ایجاد شده، به خراسان شمالی تعلق می‌گیرد، و میزان کاهش درآمد کشاورزان را جبران خواهد کرد؛ ولی نکته قابل توجه، آن است که در این بخش، عمده درآمد باید با هدف ارتقای تکنولوژی کشاورزی در استان خراسان شمالی صرف شود تا به مرور زمان، میزان بهره‌وری آب کشاورزی در این منطقه افزایش یافته و موجبات درآمد کشاورزان فراهم آید.

این رویکرد با گذشت زمان باعث بالا رفتن بهره‌وری آب در بخش کشاورزی در محدوده خراسان شمالی و حل مشکل زیست محیطی و کمبود منابع آب در استان گلستان و شهرستان قوچان می‌شود.

و البته اگر استان گلستان و شهرستان قوچان نیز مازاد درآمد ایجاد شده خود را مدیریت کرده و از آن، در بهبود شرایط بهره‌وری آب در بخش کشاورزی استفاده کنند، قطعاً میزان میزان درآمد آنها نیز از بخش کشاورزی روز به روز بهبود خواهد یافت.

منابع

- خبرگزاری تسنیم (۱۳۹۳). بیابان‌زایی در کمین گلستان سرسبز ایران:
http://www.tasnimnews.com/fa/news/1393/05/28
- خبرگزاری مهر (۱۳۹۳). منابع آبی قوچان در شرایط خوبی قرار ندارد:
http://www.mehrnews.com/news/2284383.
- رحیمی، ح. (۱۳۸۳). مشکل ناشناخته جهانی: بحران آب. *پیک نور*، سال اول، شماره ۲: ۳۳-۲۴.
- زیدعلی (۱۳۸۲). بررسی وضعیت بهره وری آب در شبکه آبیاری و زهکشی مغان. یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان (۱۳۹۵). آمار و اطلاعات استان گلستان:
http://www.gsrw.ir/
- فرمانداری شهرستان قوچان (۱۳۹۵). فرمانداری شهرستان قوچان:
http://quchan.khorasan.ir/
- عبدلی، قهرمان (۱۳۹۱). *نظریه بازی ها و کاربرد آن (بازی های اطلاعات ناقص، تکاملی و همکارانه)*. سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه ها (سمت).
- گزارش بازنگری شناسایی منابع آب سطحی مطالعات حفاظت کیفی منابع آب دشتهای استان خراسان شمالی (۱۳۸۳). جلد دوم.
- وزارت نیرو (۱۳۸۳). دستورالعمل و ضوابط تقسیم بندی و کدگزاری حوضه های آبریز و محدوده های مطالعاتی در سطح کشور. شرکت مدیریت منابع آب ایران.
- Brandenburger and stuart. (2007) Biform Games *Management Science*, Vol. 53, No. 4: 537-549.
- Dinar (2004). Exploring Transboundary Water Conflict And Cooperation. *Water Resources Researcch*, Volume 40, Issue 5, Issue 3: 476-482.
- Dickinson, Robert E. (1982). Methods for apportioning the cost of a water resource project. *Water Resources Research*, Volume 18, Issue 3: 476-482.
- Irene Parrachino, Stefano Zara and Fioravante Patrone. (2006). Cooperative game theory and its application to natural. *Environmental and Water Resource*, Issue 1., Basic Theory.

- Madani, K. (2010). Game theory and water resources. *Journal of Hydrology*, Vol. 381 (3-4): 225-238.
- Kohansal. . (۲۰۱۳)Management of water agriculture regarding to profit index- (Case study: Mashhad - Chenaran weald in Iran). *International Journal of Agriculture and Crop* Sciences.۶۲۲-۶۱۷/۱
- Lejano, Raul P. (1995). Cost allocation of multiagency water resource projects: Game theoretic approaches and case study. *Water Resources Research*, Volume 31, Issue 5: 1387-1393.
- Mehrparvar, Milad *et al.* (2016). 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*, Volume 14, Issue 1.
- Mingming Leng, & Mahmut Parlar (2010). Analytic solution for the nucleolus of a three-player cooperative game Naval Research Logistics (NRL) 57 (7): 667-672.
- Natalia Kosolapova *et al*. (2018). Modeling resource basis for social and economic development strategies: Water resource case. *Journal of Hydrology,* Volume 553, October 2017: 438-446.
- Rogers. (1969). A game theory approach to the problems of international river basins. *Water Resources Research*, 5 (4): 749-760.
- Tiangui, L. V. *et al.* (2019). A Game Theory-Based Approach for Exploring Water Resource Exploitation Behavior in the Poyang Lake Basin, China, Sustainability 2019, 11, 6237.
- Stéphane Airiau (2012). Cooperative Games - Lecture 5: The nucleolus: www.lamsade.dauphine.fr/~airiau/Teaching/CoopGames
- Wu, Xun and Dale Whittington (2005). Incentive compatibility and conflict resolution in international river basins: A case study of the Nile basin. *Water Resources Research*, 42 (2), 2006; Wu, Xun. Corporate Governance and Corruption: A Cross-Country Analysis, Governance: An International Journal of Policy, Administration and Institutions, 18 (2), 2005