تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال شانزدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹
Volume 16, No. 1, Spring 2020 (IR-WRR)
۲۵۳-۲۷۴

ارزیابی سیاست‌های مدیریت منابع آب در حالت وجود اطلاعات ناقص با استفاده از بازی علامت‌دهی، مطالعه موردی: حوضه آبریز زاینده‌رود

زهره سادات احمدی[۱]، حمیدرضا صفوی[۲*] و رضا کراچیان[۳]

چکیده

افزایش نیازهای آبی در دهه‌های اخیر توأم با نوسانات اقلیمی خصوصاً در فلات مرکزی ایران و همچنین وجود ذی‌نفعان مختلف با اهداف و تمایلات متضاد فرآیند تخصیص آب را در این حوضه پیچیده کرده است. علاوه بر این در مدیریت کمی منابع آب مواردی از اطلاعات ناقص وجود دارد که می‌تواند شامل عدم قطعیت راجع به متغیرهای هیدرولوژیکی، منابع آب در دسترس، اجرای طرح‌های بلندمدت و پروژه‌های انتقال آب باشد. اجرای طرح‌ها و پروژه‌های انتقال آب عمدتاً با اطلاع‌رسانی صورت می‌گیرد؛ اما در زمان اجرا، اطلاعات مربوط به این طرح‌ها ازجمله میزان آورد واقعی این طرح‌ها و نحوه تخصیص آن بین ذی‌نفعان مشخص نیست. وجود این عدم تقارن اطلاعات قطعاً بر روی عملکرد و نحوه تصمیم‌گیری ذی‌نفعان تأثیر خواهد گذاشت. لذا ضروری است این عدم قطعیت‌ها در مدیریت کمی منابع آبی در حوضه‌های آبریز لحاظ شود. در این مقاله به‌منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود درباره طرح ملی شیرین‌سازی و انتقال آب از خلیج‌فارس به صنایع استان اصفهان از بازی علامت‌دهی استفاده می‌شود. بازی علامت‌دهی دسته‌ای از بازی‌های پویا با اطلاعات ناقص است که می‌تواند برای مدل کردن این مسأله مفید باشد. در این مقاله بازی علامت‌دهی با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود درباره طرح ملی شیرین‌سازی و انتقال آب از خلیج‌فارس به صنایع استان اصفهان و با حضور وزارت نیرو به‌عنوان فرستنده و کشاورزان به‌عنوان گیرنده توسعه داده می‌شود. این روش درنهایت سیاست‌های تخصیص منطبق بر تعادل بیژین کامل[۱] را ارائه می‌دهد. تعادل این بازی از نوع یک‌کاسه[۲] است به‌طوری‌که در این تعادل، وضعیت اجرای طرح ملی و سیاست پشت پرده برای احقاق حق‌آبه کشاورزان و تالاب گاوخونی در هر حالتی که باشد برای وزارت نیرو بهینه است که حداکثر به میزان ۶۰ درصد تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی برای کشت آن‌ها از سد زاینده‌رود رها کند و از سوی دیگر کشاورزان نیز سطح زیر کشت خود را به میزان ۱۰ درصد کاهش دهند. نتایج نشان می‌دهد که در صورت تمرکز یک‌جانبه وزارت نیرو به ارزش اقتصادی آب و عدم توجه به جنبه‌های اجتماعی، حقوقی و زیست‌محیطی، حتی با اجرای این طرح ملی، تمایلی برای احقاق حق‌آبه کشاورزان یا تالاب بین‌المللی گاوخونی نخواهد داشت.

کلمات کلیدی: تخصیص منابع آب، نظریه بازی‌ها، اطلاعات نامتقارن، انتقال آب، شیرین‌سازی، خلیج‌فارس، فلات مرکزی ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۱۱/۲۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۱/۸

۱- دانشجوی دکتری مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
۲- استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
۳- استاد، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۹ امکانپذیر است.

Assesment of Water Resources Policies Under Incomplete Information Using Signaling Game, Case Study: ZayandehRud River Basin

*Z. Ahmadi [1], H.R. Safavi[2] *, and R. Kerachian [3]*

Abstract

Increasing water demands and climate variability in recent decades, as well as the presence of various stakeholders with conflicting goals and tendencies have resulted in serious challenges and complicated water allocation. In addition, there are some kinds of incomplete information in water resources management, which may include uncertainties about hydrological variables, available water resources, implementation of long-term plans and inter-basin water transfer projects. The existence of this information asymmetry will definitely affect the performance and decision-making of the stakeholders. So, it is necessary to consider these uncertainties in management of water resources in the basin. In this paper water allocation under asymmetric information between the ministry of energy as sender and the agriculture sector as receiver regarding implementing water desalination and transmission from the Persian Gulf to Isfahan industries has been modeled using signaling game a type of dynamic game with incomplete information. The equilibrium of the game is pooling consequently ministry of energy in all types of implementation of the national water transfer plan and unknown policies about the environmental or agricultural rights sends the same signal. The best strategy is to release only 60% of water requirements for wheat farmers from the Zayandehrood dam. On the other hand agriculture sector should reduce their crop area by 10%. The results show that if the ministry of energy managers focus only on economic value and disregard the social, legal and environmental aspects even with this national plan will implement, they will not so inclined to afford agricultural and environmental rights.

Keywords: Water Resources Allocation, Game Theory, Asymetric Information, Water Transmission, Desalination, Persian Gulf, Central Plateau of Iran.

Received: February 17, 2020
Accepted: April 6, 2020

1- Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email: zs.ahmadi@cv.iut.ac.ir
2- Professor, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email: hasafavi@iut.ac.ir
3- Professor, School of Civil Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: kerachian@ut.ac.ir
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

غالب مسائل تصمیم‌سازی در مدیریت منابع طبیعی از جمله منابع آب شامل یک سری اهداف متضاد و مرتبط با هم است که در اکثر مواقع تصمیم‌گیران باید تنها یک سیاست را از میان گزینه‌های پیش رو اتخاذ کنند به‌طوری‌که بین این اهداف متضاد تعادل ایجاد کرده و محدودیتها رعایت شوند. مسأله زمانی دشوارتر می‌شود که چندین ذی‌نفع با ترجیحات و تمایلات مختلف نیز، درگیر مسأله شوند. مطالعات زیادی به‌منظور مدل کردن این‌گونه مناقشات در حوزه مدیریت منابع آب و با استفاده از روش‌های حل اختلاف ازجمله تئوری بازی‌ها توسعه‌یافته است. برخلاف روش‌های بهینه‌سازی، در یک بازی بازیکن‌ها در تلاش هستند تا با پیش‌بینی تصمیم دیگر بازیکنان، از آن‌ها پیشی بگیرند و سود خود را حداکثر کنند. آن‌ها می‌دانند که تصمیم سایر افراد روی سود آن‌ها تأثیرگذار است و برعکس (Madani, 2010). فقدان دید سیستماتیک و تلفیقی و تلاش هریک از ذی‌نفعان برای حداکثر کردن اهداف خود، از دلایل اصلی ایجاد مناقشه است. سازمان‌های ذی‌نفع همواره در تلاش هستند تا عملکرد خود را بهتر کرده و فعالیت و آمار خود را بالا ببرند. درحالی‌که ناسازگاری سیاست‌ها و رفتارهای آن‌ها با توجه به ظرفیت محدود منابع منجر به تراژدی منابع مشترک[۳] می‌شود. این ذی‌نفعان در اکثر مواقع سیاست‌های زودبازده مانند دریافت آب بیشتر به‌جای توجه به گزینه‌های جایگزین مانند افزایش بازدهی، صرفه‌جویی و یا مدیریت تقاضا را انتخاب می‌کنند (Espinola-Arredondo and Muñoz-García, 2011).

یکی از انواع دسته‌بندی برای بازی‌ها بر اساس مشخص بودن پیامدهای بازی برای تمام بازیکنان است. اگر هر بازیکن بداند که هر انتخاب خود و حریف چه پیامدی دارد و اطلاعات در مورد بازی مثلاً درباره هزینه‌ها بین تمام افراد رایج باشد، بازی با اطلاعات کامل[۴] انجام می‌شود؛ اما اگر بعضی بازیکنان اطلاعاتی درباره پیامد و عایدی بازی نداشته باشند و یا یکی از بازیکنان اطلاعات بیشتری نسبت به سایرین داشته باشد و بر این اساس تصمیم‌گیری کند، بازی با اطلاعات ناقص[۵] صورت می‌گیرد. بازی علامت‌دهی[۶] نوعی از بازی پویا با اطلاعات ناقص است که کاربرد وسیعی در قدرت‌نمایی نظامی بین کشورها و سرمایه‌گذاری و رقابت بین بنگاه‌های اقتصادی دارد. در بازی قدرت‌نمایی نظامی، کشورها از طریق انجام مانور نظامی و آزمایش سلاح تلاش می‌کنند تا قدرت نظامی خود را به سایر کشورها نشان داده و آن‌ها را از انجام هرگونه تعارض یا حمله بازدارند. بازی علامت‌دهی در بازی قدرت‌نمایی نظامی تحلیل می‌کند که آیا مانور انجام‌شده نشانه قدرت نظامی حریف است یا فقط یک تهدید است. از سوی دیگر، رقابت بین بنگاه‌های اقتصادی که اطلاعات کافی از شرایط اقتصادی و اهداف همدیگر ندارند، گاهی اوقات بسیار شدید می‌شود و گاهی اوقات رفتار هماهنگ دارند. نحوه رفتار بنگاه‌ها به نوع و میزان اطلاعات خصوصی بنگاه‌ها بستگی دارد که با استفاده از بازی علامت‌دهی می‌توان آن را تحلیل کرد (Abdoli Ghahreman, 2012).

در مدیریت منابع آب مواردی از اطلاعات ناقص وجود دارد که می‌تواند شامل عدم قطعیت راجع به متغیرهای هیدرولوژیکی، منابع آب در دسترس و مواردی از این قبیل باشد. اجرای طرح‌ها و پروژه‌های مهم در حوزه آب‌رسانی عمدتاً با اطلاع‌رسانی صورت می‌گیرد؛ اما در زمان اجرا امکان دسترسی دقیق به میزان حجم آورد این طرح‌ها برای ذی‌نفعان وجود ندارد. قطعاً مدیران وزارت نیرو از این آمار اطلاع دارند اما ممکن است به خاطر برخی مسائل سیاسی و استراتژیک این اطلاعات را در دسترس عموم قرار نداده و یا حتی در شرایطی اطلاعات نادرست بدهند. لذا بازی علامت‌دهی می‌تواند ابزار مناسبی برای مدل کردن مناقشات تخصیص منابع آب با توجه به وجود اطلاعات نامتقارن بین ذی‌نفعان در حوزه‌های آبی باشد.

مطالعات متعددی در زمینه تخصیص منابع آب با استفاده از تئوری بازی‌ها انجام شده است که در اکثر این مطالعات تخصیص آب در شرایط اطلاعات متقارن بحث شده است. Okada et al. (1985) از بازی با اطلاعات ناقص برای مدل کردن مناقشات در دریاچه بیوا[۷] در ژاپن استفاده کردند. این اختلاف بین مصرف‌کنندگان آب در پایین‌دست و بالادست رودخانه اتفاق می‌افتد؛ زمانی که کنترل منبع آبی در اختیار بالادست است و پایین‌دست تقاضای آب بیشتری دارد. بازی با اطلاعات ناقص در این مطالعه به‌گونه‌ای مدل شد که بازیکنان اطلاعات نادرستی درباره اولویت‌ها و تصمیم‌های سایر بازیکنان دارند. Zadeh et al. (2009) از بازی‌های ایستا[۸] و پویای[۹] غیرهمکارانه[۱۰] و بازی همکارانه[۱۱] در منطقه بیدستان به‌عنوان مطالعه موردی استفاده کردند. در این منطقه دو بخش شهری و یک بخش کشاورزی وجود دارد که از یک آبخوان مشترک برای تأمین نیاز شرب و کشاورزی استفاده می‌کنند. مدل در سه سناریو بازی ایستای غیر همکارانه، بازی پویای غیرهمکارانه و بازی همکارانه اجرا شد. نتایج نشان داد که در بین سناریوهای طراحی‌شده، همکاری بین کاربران در این بخش منجر به سود بیشتر برای بازیکنان می‌شود، اما احتمال عملی شدن این همکاری در واقعیت بسیار کم است و همچنین بازی پویا منجر به برداشت بیشتر از آبخوان می‌شود. Kerachian et al. (2010)

مناقشات بین مصرف‌کنندگان آب، تأمین‌کنندگان آب و طرفداران محیط‌زیست در استفاده تلفیقی از آب‌های سطحی و زیرزمینی را با استفاده از الگوریتم چندهدفه ژنتیک مدل کردند. جهت شبیه‌سازی نوسانات و کیفیت آب زیرزمینی از نرم‌افزارهای MODFLOW و MT3D استفاده شده است. درنهایت بهترین جواب در جبهه پارتو با استفاده از تئوری چانه‌زنی مرحله‌ای رابینشتین[۱۲] انتخاب‌شده است. از نظریه فازی برای توصیف بهتر توابع سود بازیکنان استفاده شده است. Bhaduri and Liebe (2013) به تسهیم آب رودخانه مرزی بین دو کشور در بالادست و پایین‌دست حوضه ولتا[۱۳] با در نظر گرفتن مسأله مرتبط[۱۴] آب و انرژی و با لحاظ تأثیر همکاری بین کشورهای بالادست و پایین‌دست روی سود حاصل از شراکت آب با استفاده از بازی استکلبرگ[۱۵]، بازی رهبر–پیرو، پرداختند. در این تحقیق در ابتدا یک بازی غیر همکارانه جهت تخصیص آب بین دو کشور بالادست و پایین‌دست توسعه داده شد. در ادامه یک بازی رهبر–پیرو توسعه داده شد که در آن کشور پایین‌دست انرژی را با قیمتی کمتر در مقابل سهم بیشتری از آب رودخانه به کشور بالادست مبادله کند. در حالت همکارانه، کشور پایین‌دست به آب بیشتری در بخش کشاورزی دسترسی پیدا می‌کند و کشور بالادست هم از تخفیف انرژی بهره‌مند می‌شود. بااین‌وجود، این وابستگی و همکاری در بلندمدت پایدار نیست به‌طوری‌که با افزایش جمعیت در کشور بالادست مصرف آب افزایش می‌یابد و این همکاری بی‌ثبات می‌شود. Jafarzadegan et al. (2014) از یک روش جدید برای عملکرد بهینه در پروژه انتقال آب بین‌حوضه‌ای با استفاده تلفیقی از آب سطحی در مبدأ و آب زیرزمینی در مقصد استفاده کردند. برای لحاظ کردن عدم‌قطعیت جریان یک مدل برنامه‌ریزی پویای تصادفی[۱۶] توسعه داده‌شده است. کاربران آب می‌توانند با یکدیگر وارد ائتلاف شوند و سود خود را افزایش دهند. ازاین‌رو از تعداد زیادی از بازی‌های همکارانه مانند ارزش شاپلی[۱۷]، نش هارسانی[۱۸]، نوکلئوس[۱۹] و غیره استفاده شد تا سود هر کاربر تعیین شود. در گام آخر، سهام‌داران با استفاده از تئوری چانه‌زنی فالبک[۲۰] مذاکره می‌کنند تا به یک توافق همه‌جانبه روی توزیع سود نهایی برسند. این بازی در پروژه انتقال آب از کارون به رفسنجان با چهار بازیکن شامل بخش مدرن و سنتی کشاورزی و صنایع کشاورزی، کشاورزان محلی خوزستان و کشاورزان رفسنجان اجرا شد. Zarezadeh et al. (2016) با استفاده از بازی ترتیبی– ترکیبی به حل چالش مصرف آب در رودخانه هیرمند بین ایران و افغانستان پرداختند. هدف بررسی اقدامات تشویقی جهت کاهش سطح زیرکشت خشخاش و کاهش مصرف آب در بالادست به نفع محیط‌زیست است. نتایج نشان داد که موفقیت این تعامل وابسته به قیمت خشخاش است به‌طوری‌که در نرخ‌های بالاتر انگیزه همکاری کاهش می‌یابد. Safavi et al. (2016) به مدیریت تلفیقی منابع آب سطحی و زیرزمینی در زیرحوضه نجف‌آباد در حوضه آبریز رودخانه زاینده‌رود در فلات مرکزی ایران پرداخته که اخیراً کمبود آب و افزایش تقاضا موجب اختلاف بین شرکت آب منطقه‌ای و سازمان جهاد کشاورزی شده است. به این منظور شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs) به‌عنوان مدل شبیه‌ساز با الگوریتم ژنتیک (GA) متصل شده است. مدل بهینه‌ساز با دو هدف حداقل کردن اختلاف بین نیاز و ذخیره و حداقل کردن افت سطح آب زیرزمینی توسعه داده شده است. در ابتدا منحنی مرز پارتو ایجادشده و راه‌حل منحصربه‌فرد با استفاده از دو روش حل مناقشات تئوری چانه‌زنی نش و روش کلای اسموردنسکی[۲۱] به‌دست آمده است. Mohammadpour and Bagheri (2017) از بازی‌های دو نفره برای احیای دریاچه ارومیه بین دو استان مجاور استفاده کردند. جهت تغییر شرایط بازی، یک تعدیل‌کننده (دولت) به‌عنوان بازیکن سوم به بازی اضافه می‌شود. بازی بین بازیکنان در دو حالت ایستا و پویا اجرا می‌شود. در بازی ایستا یک تعادل دوسطحی در شرایط غیرهمکارانه به دست می‌آید. بازی‌های پویا نسبت به بازی‌های ایستا بیشتر به واقعیت نزدیک هستند. Zanjanian et al. (2018) مناقشات موجود در تخصیص آب سد ایلام را بین ذی‌نفعان شامل جهاد کشاورزی، سازمان محیط‌زیست، شرکت آب و فاضلاب و آب منطقه‌ای به‌صورت کیفی[۲۲] با استفاده از مدل GMCR بررسی کردند. نتایج نشان داد که سازمان جهاد کشاورزی و شرکت آب و فاضلاب آب بیشتری را برداشت کرده و سهم ناچیزی برای بخش محیط‌زیست باقی می‌ماند. در اینجا شرکت یک عامل سوم مانند دولت و یا دادگستری می‌تواند نتیجه این مناقشه را تغییر دهد و به سمت حالت بهینه هدایت کند. اگرچه در بسیاری از مطالعات انجام‌شده که به برخی از مهم‌ترین آن‌ها اشاره شد، تخصیص منابع آب با رویکردهای مختلف بررسی شده است اما یکی از جنبه‌هایی که در این زمینه نادیده گرفته شده است؛ وجود اطلاعات نامتقارن بین ذی‌نفعان و مسئولان در بهره‌برداری و برنامه‌ریزی و نقش انتقال اطلاعات و تأثیر آن بر مناقشات حوضه است.

Kicsiny and Varga (2019) به‌منظور توصیف میزان آب مصرفی ذی‌نفعان از یک منبع آب محدود یک بازی دیفرانسیلی با هدف حداکثر کردن بازده بازیکنان توسعه دادند. در ابتدا تعادل نش بازی به‌صورت غیر همکارانه ارائه شد. سپس، در ادامه بهینه پارتو نش غیرهمکارانه بررسی شده و جفت استراتژی بهینه پارتو که در حالت همکارانه مبلغ بازپرداخت را برای بازیکنان حداکثر می‌کند ارائه می‌شود. مقایسه نتایج رفتار همکارانه با غیرهمکارانه نشان می‌دهد که رفتار همکارانه

به‌طورکلی سود بیشتری برای بازیکنان نسبت به رفتار غیر همکارانه فراهم می‌کند. Zarei et al. (2019) جهت بهره‌برداری از مخزن آب چندمنظوره با هدف تأمین نیازهای کشاورزی، شهری، صنعتی و زیست‌محیطی یک الگوریتم ترکیبی تکاملی متشکل از دو الگوریتم خفاش[۲۳] و الگوریتم ازدحام ذرات[۲۴] را توسعه دادند. این الگوریتم برای محاسبه حجم کل آب مورد نیاز ماهانه برای بخش‌های مختلف استفاده شده است. الگوریتم ترکیبی جدید با حذف پاسخ‌های ضعیف یک الگوریتم و جایگزین کردن پاسخ‌های قوی الگوریتم دیگر، سرعت همگرایی را افزایش داده و به یک پاسخ بهینه مطلق دست می‌یابد. سپس، نحوه تخصیص آب بین ذی‌نفعان با استفاده از روش متناسب[۲۵] در تئوری بازی‌ها تعیین شد. بر اساس نتایج، نرخ همگرایی الگوریتم ترکیبی نسبت به استفاده مجزا از هر الگوریتم بهتر است. علاوه بر این شاخص قابلیت اطمینان حجمی[۲۶] مدل برای تأمین نیازهای شهری، زیست‌محیطی، کشاورزی و صنعتی به ترتیب ۰/۹۲، ۰/۸۹، ۰/۷۹ و ۰/۷۵ است. Salehi et al. (2019) جهت تخصیص منابع آب حوضه آبریز زاینده‌رود بین چهار ذی‌نفعان شامل شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان، سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان، اداره حفاظت از محیط‌زیست و استان چهارمحال بختیاری از مدل گراف استفاده کردند. همچنین با بهره‌گیری از روش سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری، مدل، WEAP معیارهای ارزیابی عملکرد سیستم و شاخص پایداری، این مناقشه حل گردیده و با توجه به هفت سناریو اتخاذ شده بهترین سناریو برای رفع اختلاف و اعمال در حوضه و راه‌حل‌های احتمالی آن، ارائه شد. نتایج حاکی از مؤثر بودن اجرای طرح ایجادکننده حق‌آبه‌بران جدید در حوضه، تأکید بر حق‌آبه زیست‌محیطی و طرح‌های تعادل‌بخشی آبخوان‌ها به همراه مدیریت توأمان تأمین و تقاضا در حوضه است.

اطلاعات نامتقارن در مطالعات محدودی درزمینه منابع مشترک مورد توجه قرار گرفته است. Espinola-Arredondo and Muñoz-García (2011) حفاظت از منابع مشترک را از طریق مدیریت اطلاعات تحلیل و بررسی کرد. به‌عبارت‌دیگر، در چه شرایطی تنظیمات اطلاعاتی می‌تواند مانع از وقوع تراژدی منابع مشترک شود. Jakob and Lessmann (2012) از بازی علامت‌دهی در پیمان‌نامه بین‌المللی محیط‌زیستی استفاده کردند. در این تحقیق، مدل بازی به‌گونه‌ای توسعه‌یافته تا نشان دهد که چگونه اطلاعات نامتقارن می‌تواند مانع از توافق و همکاری موفقیت‌آمیز نسبت به حالت شرایط اطلاعات کامل شود. همچنین این مدل نشان داد که آشکارسازی صادقانه اطلاعات خصوصی در بازی یک استراتژی غالب است و نتیجه همکاری در اطلاعات نامتقارن به‌شدت پست‌تر[۲۷] از نتیجه به‌دست‌آمده با اطلاعات کامل است. Abed-Elmdoust and Kerachian (2012) از تئوری بازی‌ها برای مدل کردن چانه‌زنی بین تخلیه‌کنندگان آلودگی در یک بازه رودخانه استفاده کردند. در این تحقیق بازی علامت‌دهی تکراری n نفره برای مدیریت کیفی رودخانه زرجوب در استان گیلان با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در بار آلودگی تخلیه‌کننده‌ها بین هفت تخلیه‌کننده مدل شد. استراتژی بازیکنان درصد تصفیه در سه سطح مختلف و حالت بازیکنان فقط برای دو بازیکن با میزان بار آلودگی در دو حالت کم و زیاد تعریف شده است. بازی از تخلیه‌کننده اول در بالادست شروع می‌شود و هر بازیکن استراتژی خود را به بازیکن بعدی اعلام می‌کند. درنهایت استراتژی تصفیه تعادلی بیژین نش کامل از بازی علامت‌دهی استخراج شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در صورت اجرای استراتژی تعادلی توسط تخلیه‌کنندگان غلظت اکسیژن محلول در پایین‌دست رودخانه مطابق استاندارد خواهد بود. Sakamoto and Salewicz (2018) به شفاف‌سازی و مدل‌سازی چانه‌زنی مخفی بین اپراتور مخزن و کشاورزان منطقه در راستای تخصیص آب سد الثرثار[۲۸] روی رودخانه دجله[۲۹] پرداختند. اپراتور مخزن سیاست رهاسازی آب را در سال آبی آینده برای کشاورزان منطقه اعلام می‌کند. به نظر می‌رسد که هر دو بازیکن تمایل به تقلب و فریب‌دادن یکدیگر را دارند. با توجه به تجربیات گذشته، کشاورزان ممکن است موافق سیاست تخصیص اعلام شده نباشند و مطابق با آن رفتار نکنند. به همان دلیل، اپراتور مخزن ممکن است اطلاعات غلطی در مورد میزان آب در دسترس ارائه دهد. در این راستا مدل بسط‌یافته بازی غیرهمکارانه جهت مدل‌کردن روند چانه‌زنی مخفی بین این دو بازیکن توسعه داده شد. نتایج این مدل چشم‌اندازی برای بررسی اعتبار سیاست‌های قدیمی تخصیص آب در سد با در نظر گرفتن پیامد بازیکنان و روابط تعاملی بین آن‌ها ارائه می‌دهد. نتایج نشان داد که سیاست سنتی تخصیص اجرا شده برای مدیریت حوضه در مخزن سد الثرثار به خوبی طراحی شده است، اگرچه وضعیت اعتماد متقابل بین اپراتور مخزن و کشاورزان تنها در یک ششم از موارد ظاهر می‌شود.

در مطالعه حاضر، تخصیص آب در حالت وجود اطلاعات نامتقارن بین وزارت نیرو و کشاورزان بررسی می‌گردد. این بازی برای تخصیص آب به کشاورزان شرق در حوضه آبریز زاینده‌رود در صورت اجرای طرح شیرین‌سازی و انتقال آب از خلیج فارس به صنایع اصفهان در نظر گرفته شده است. به‌طور خاص در حوضه آبریز زاینده‌رود اجرای تونل سوم کوهرنگ، بهشت‌آباد و دیگر طرح‌های انتقال آب از علامت‌های جدی هستند و قطعاً بر روی مصارف حوضه تأثیر خواهند گذاشت.

همان‌طور که احداث تونل اول و دوم کوهرنگ در سال‌های گذشته باعث افزایش مصرف و بالا رفتن سطح زیر کشت در بخش کشاورزی، توسعه صنایع و افزایش جمعیت شد (Tavakoli-Nabavi, 2011). در این مطالعه به عنوان نوآوری تلاش شده است که تأثیر وجود اطلاعات نامتقارن در حوضه روی پیامد وزارت نیرو و کشاورزان بررسی شود و بتوان با استفاده از این بازی، نقش فرایند علامت‌دهی در حوضه زاینده‌رود و اثرات آن بر ذی‌نفعان را مشاهده کرد.

۲- روش تحقیق

در بازی پویا با اطلاعات ناقص حداقل یکی از بازیکنان اطلاعات بیشتری در مورد پیامد بازی دارد. درواقع در این بازی‌ها، پیامد بازی بین بازیکنان دانش مشترک نیست. در بازی‌های پویا با اطلاعات ناقص، اگر بازیکنان اجازه داشته باشند تا با یکدیگر رابطه داشته باشند، ممکن است رفتاری نسبت به هم داشته باشند تا حریف را وادار به انتخاب استراتژی در راستای منافع خود کنند. این رفتار می‌تواند به‌صورت تهدید و تطمیع و یا تبادل اطلاعات باشد که به بازی علامت‌دهی معروف است (Abdoli Ghahreman, 2012). در این بازی بازیکن با اطلاعات بیشتر، فرستنده[۳۰]، تلاش می‌کند تا با فرستادن علامت‌هایی[۳۱] به بازیکن با اطلاعات کمتر، گیرنده[۳۲]، اطلاعات اضافی به وی منتقل کند تا در راستای منافع او اقدام کند. در این بازی محیط به‌عنوان یک بازیکن مصنوعی وارد بازی می‌شود که استراتژی‌های او حالت‌های مختلف فرستنده است که هر حالتی را با احتمالی انتخاب می‌کند. شروع بازی با محیط است که نوع حالت فرستنده را معلوم می‌کند. فرستنده حال می‌داند که در کدام حالت قرار دارد، لذا برای شناساندن حالت خود به گیرنده علامت می‌فرستد. گیرنده با دریافت علامت استراتژی را انتخاب می‌کند که درنهایت پیامد بازی برای آن‌ها معین می‌شود. نحوه نشان دادن بازی علامت‌دهی به‌صورت زیر است (Abdoli Ghahreman, 2012):

۱) فرستنده می‌تواند حالت‌های مختلفی را به خود بگیرد. مجموعه این حالت‌ها با $T_S=\{t_1,...,t_I\}$ نشان داده می‌شود. هرکدام از حالت‌ها با احتمالی امکان وقوع دارند که دارای ویژگی (۱) است:

$$P(t_1)+P(t_2)+...+P(t_I)=1 \qquad (۱)$$

محیط حالت t_i از مجموعه T_S را برای بازیکن فرستنده معلوم می‌کند. لذا فرستنده می‌داند که دقیقاً در کدام حالت قرار دارد. گیرنده اعضای مجموعه T_S را می‌داند اما حالت دقیق فرستنده را نمی‌داند. به‌عبارت‌دیگر بین گیرنده و فرستنده اطلاعات نامتقارن وجود دارد.

۲) فرستنده با دانستن حالت خود، از میان مجموعه علامت‌های قابل‌ارسال $M=\{m_1,m_2...,m_j\}$ علامت m_j را انتخاب کرده و به گیرنده ارسال می‌کند. علامت ارسالی باید به‌نوعی بیانگر حالت او باشد. مجموعه علامت‌های ارسالی برای گیرنده معلوم است.

۳) گیرنده باید با مشاهده علامت m_j به حالت بازیکن فرستنده t_i پی ببرد. سپس گیرنده از میان مجموعه استراتژی $A=\{a_1,a_2...,a_K\}$ یک عملی را مانند a_k انتخاب می‌کند.

۴) درنهایت پیامد فرستنده با $U_S(t_i,m_j,a_K)$ و گیرنده با $U_R(t_i,m_j,a_K)$ نشان داده می‌شود.

تعادلی که در بازی علامت‌دهی مورد استفاده قرار می‌گیرد، تعادل بیژین نش کامل است. تعادل بیژین نش کامل استراتژی خالص در بازی علامت‌دهی شامل استراتژی بهینه فرستنده $m^*(t_i)$، گیرنده $a^*(m_j)$ و باور $\mu(t_i|m_j)$ است به‌طوری‌که شروط اول تا چهارم را ارضا کند.

۱) شرط اول: باورهای مشروط

در هر مجموعه اطلاعاتی که بازیکن قرار گرفت باید باوری را شکل دهد، مبنی بر این‌که به هر یک از گره‌های اطلاعاتی با چه احتمالی می‌تواند برسد. شرط باورهای مشروط برای فرستنده ضروری نیست؛ زیرا بعد از تعیین حالت او توسط محیط او می‌داند که در کدام مجموعه اطلاعاتی قرار دارد؛ اما مسأله در مورد گیرنده متفاوت است. گیرنده بعد از دریافت علامت m_j باید باوری را شکل دهد تا بتواند با استفاده از علامت فرستنده از حالت وی مطلع شود. این باور با توزیع احتمال $\mu(t_i\,|m_j)$ نشان داده می‌شود. درواقع این باور بیانگر احتمال حالت t_i به شرط ارسال علامت m_j است. برای این احتمال رابطه (۲) برقرار است. مجموع احتمال‌ها برای هر علامت ارسالی و روی تمام حالت‌ها باید برابر یک باشد.

$$\sum_{t_i\in T}\mu(t_i\,|m_j)=1 \qquad (۲)$$

۲) شرط دوم: رفتار عقلایی:

هر بازیکن باید با توجه به باور خود استراتژی عقلایی را انتخاب کند. گیرنده بعد از دریافت هر علامت از سوی فرستنده یعنی m_j و با توجه به باوری که در شرط اول مبنی بر حالت فرستنده، شکل یافته است، باید عملی را انتخاب کند که پیامد انتظاری او را حداکثر کند. این عمل را با $a^*(m_j)$ نشان داده و حاصل بهینه‌سازی مسأله (۳) است.

$$\max\sum_{\substack{a_K\in A\\ t_i\in T_S}}\mu(t_i|m_j)U_R(t_i,m_j,a_K) \qquad (۳)$$

شرط رفتار عقلایی برای فرستنده نیز باید برقرار باشد. فرستنده با توجه به حالت خود می‌تواند علامت‌های متفاوتی را برای گیرنده ارسال کند؛ اما با توجه واکنش گیرنده طبق شرط دوم، $a^*(m_j)$، باید علامتی را بفرستد که پیامد او را حداکثر می‌کند. این علامت را با $m^*(t_i)$ نشان داده و حاصل بهینه‌سازی مسأله (۴) است.

$$\max_{m_j \in M} U_S(t_i, m_j, a^*(m_j)) \quad (۴)$$

۳) شرط سوم: باورهای سازگار

باورها باید با استراتژی‌ها سازگار باشند، یعنی در مجموعه‌های اطلاعاتی که روی مسیر تعادل قرار دارند باورها مطابق با استراتژی‌های تعادلی با استفاده از قانون بیز نیز محاسبه شوند. باور گیرنده به‌وسیله قانون بیز[۳۳] و علامت ارسالی فرستنده طبق رابطه (۵) به‌روزرسانی می‌شود.

$$\mu(t_i \mid m_j) = \frac{P(t_i)}{\sum_{t_i \in T} P(t_i)} = \frac{\mu(m_j \mid t_i).\mu(t_i)}{\sum_{t_i \in T} \mu(m_j \mid t_i).\mu(t_i)} \quad (۵)$$

تعادل بیژین نش کامل نوعی پالایش تعادل نش است که با اعمال شروط فوق برخی تعادل‌های نشی که در عمل رخ نمی‌دهند و غیر عقلایی هستند کنار گذاشته می‌شوند. فلوچارتی از روش انجام این تحقیق در شکل ۱ نمایش داده‌شده است.

۳- مطالعه موردی

حوضه آبریز زاینده‌رود با مساحت ۲۶۹۱۷ کیلومترمربع و ۶۳ درصد ازنظر مساحت، مهم‌ترین بخش حوضه آبریز گاوخونی محسوب می‌شود که خود جزیی از حوضه آبریز فلات مرکزی ایران است (شکل ۲). رودخانه زاینده‌رود به‌عنوان بزرگ‌ترین رودخانه مرکزی ایران با طول ۳۵۰ کیلومتر از دامنه‌های شرقی کوه‌های زاگرس تا باتلاق گاوخونی ادامه دارد که نقش مهمی در توسعه کشاورزی، صنعت و شهری در این منطقه داشته است. آب در حوضه زاینده‌رود در سه بخش عمده کشاورزی، صنعت و شهری به مصرف می‌رسد و علاوه بر آن نیاز محیط‌زیستی رودخانه و تالاب گاوخونی را تأمین می‌نماید.

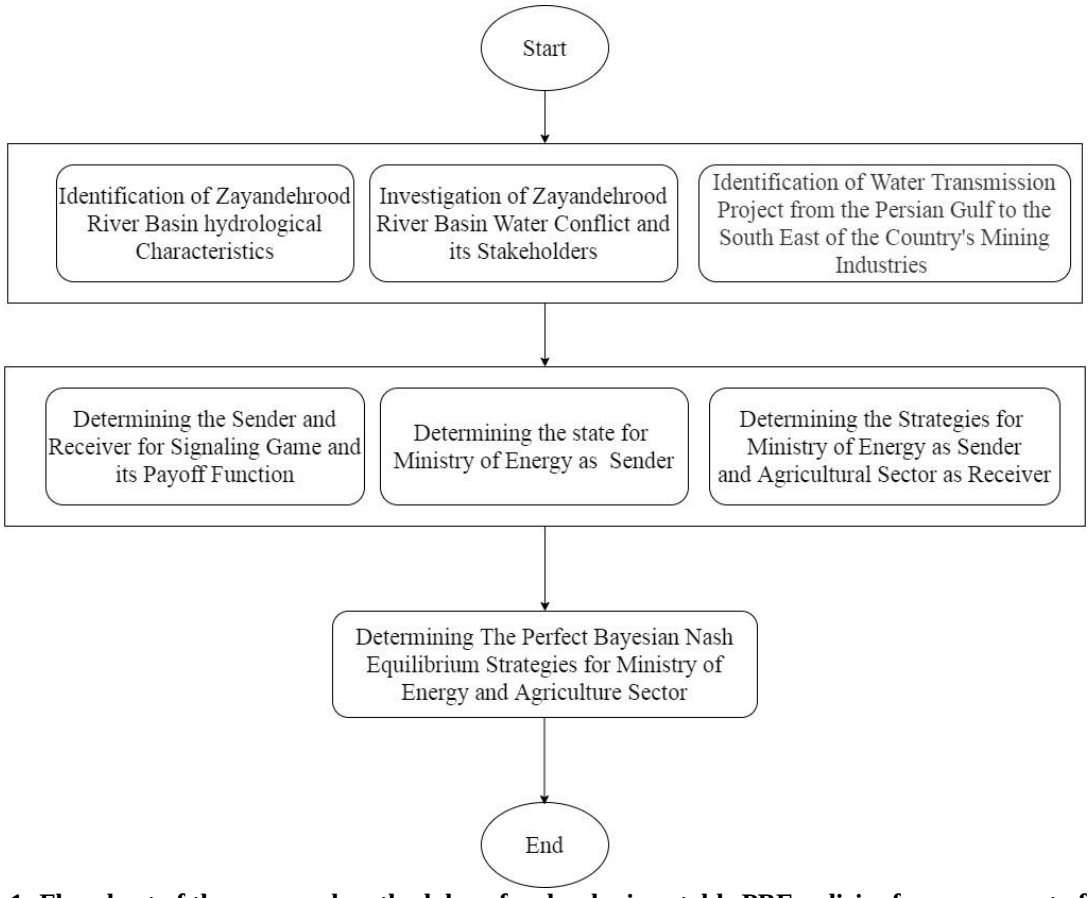

Fig. 1- Flowchart of the proposed methodology for developing stable PBE policies for assessment of the Zayandeh-Rud river basin

شکل ۱- فلوچارت روش پیشنهادی جهت تعیین سیاست‌های تعادل بیژین نش کامل در حوضه آبریز زاینده‌رود

تالاب گاوخونی مصرف‌کننده انتهایی در پایین‌دست حوضه با حق‌آبه زیست‌محیطی ۱۷۶ میلیون مترمکعب در سال است (Mohajeri, 2011). دوازده سال است که حق‌آبه گاوخونی تأمین نشده و طبق نظر کارشناسان این تالاب در آستانه تبدیل‌شدن به کانون بزرگ تولید ریزگرد در منطقه مرکزی کشور است. طی دهه‌های اخیر، پساب‌های صنعتی وارد تالاب شده که حاوی فلزات سنگین و مواد سمی سرطان‌زاست. بر اساس این مطالعات در صورت تبدیل‌شدن گاوخونی به کانون ریزگرد، ریزگردهای ناشی از آن ۱۰ استان ایران شامل تهران، البرز، قم، استان مرکزی، یزد، اصفهان، چهارمحال و بختیاری، فارس، کهگیلویه و بویراحمد و لرستان را که در شعاع ۵۰۰ کیلومتری تالاب واقع شده‌اند، در بر خواهد گرفت (Soltani, 2017). بخش کشاورزی در حوضه زاینده‌رود اصلی‌ترین مصرف‌کننده آب است. ۹۰ درصد از اراضی تحت کشت در حوضه، گیاهان زارعی شامل گندم، یونجه، اسپرس، جو، برنج، سیب‌زمینی و ذرت و ۱۰ درصد از آن باغات است. جمعیتی بیش از یک میلیون نفر در حوضه از طریق کشاورزی امرار معاش می‌کنند و در مواقع خشک‌سالی بیشترین آسیب را می‌بینند. کاهش سطح زیر کشت؛ گسترش بیابان‌زایی، کاهش اکسیژن و گرم شدن منطقه را سبب می‌شود (Mohajeri, 2011).

عدم هماهنگی توسعه صنایع و رشد جمعیت با منابع آب موجود در این حوضه و بارگذاری بیش از ظرفیت موجود حوضه به لحاظ منابع آب قابل استحصال منجر به بیلان منفی در این حوضه شده است.

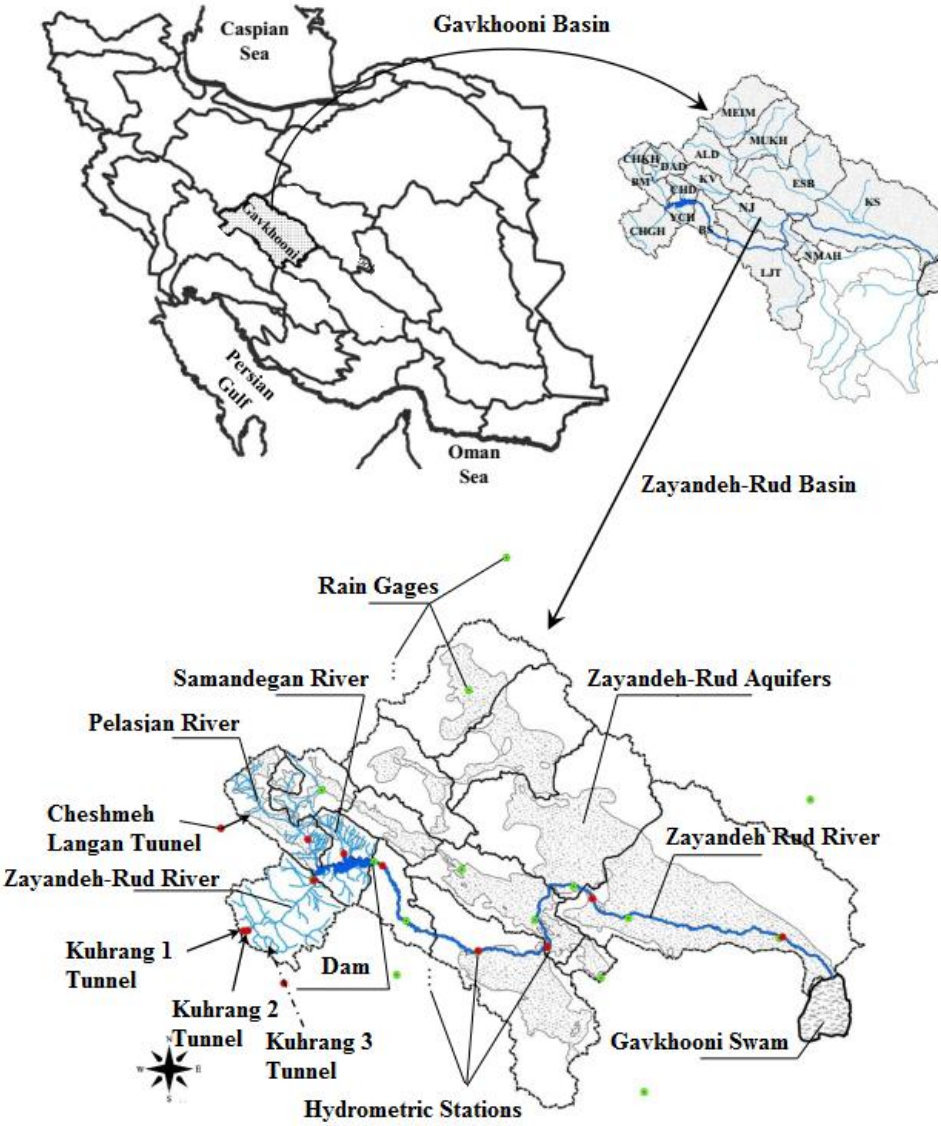

Fig. 2- Location of the Zayandeh-Rud River Basin (Safavi et al., 2015)

شکل ۲- موقعیت حوضه آبریز زاینده‌رود (Safavi et al., 2015)

لذا در دهه‌های اخیر این حوضه پیوسته با تنش آبی مواجه بوده و شاهد اجرای طرح‌های انتقال آب در گذشته بوده است. همچنین تصویب و اجرای طرح‌های انتقال آب در آینده نزدیک برای این حوضه مطرح است. منابع تأمین آب سطحی در این حوضه شامل آورد طبیعی رودخانه زاینده‌رود، تونل اول کوهرنگ با ظرفیت سالانه ۳۳۷ میلیون مترمکعب، تونل دوم کوهرنگ با ظرفیت سالانه ۲۵۰ میلیون مترمکعب و تونل چشمه لنگان بـــا ظرفیت ۱۶۴ میلیون مترمکعب است (Gohari et al., 2013). آب تونل اول کوهرنگ ازنظر قانونی متعلق به کشاورزان حق‌آبه‌دار است؛ اما در سال‌های اخیر به مصارف دیگری اختصاص یافته است. در سال ۱۳۴۹ جهت کنترل سیلاب و تأمین نیاز بخش کشاورزی سد مخزنی زاینده‌رود در منطقه چادگان، در ۱۱۰ کیلومتری غرب اصفهان، با ظرفیت ۱۴۷۰ میلیون مترمکعب به بهره‌برداری رسید (Tavakoli-Nabavi, 2011).

همان‌طور که گفته شد، پایداری و تداوم منابع آب در حوضه آبریز زاینده‌رود نیازمند تعیین و افزایش منابع آبی است تا بتوان آب مورد نیاز در بخش کشاورزی، صنعت و شرب را تأمین کرد. در این راستا یکی از طرح‌های مورد توجه پروژه شیرین‌سازی و انتقال آب از خلیج فارس برای بخش صنعت است. پروژه انتقال آب از خلیج‌فارس به صنایع جنوب شرق کشور از سال ۱۳۹۲ آغاز شده و شامل شرکت معدنی گل گهر، مس سرچشمه، سنگ‌آهن گهر زمین، شرکت معدنی و صنعتی چادرملو می‌شود. شیرین‌سازی و انتقال آب از خلیج‌فارس به استان اصفهان هم‌زمان با پروژه‌های یزد، کرمان، گل گهر و سرچشمه با ظرفیت ۲۰۰ میلیون مترمکعب در سال برنامه‌ریزی شده است. فاز اول این پروژه شیرین‌سازی حدود ۱۸۰ میلیون مترمکعب آب در سال است که ۱۳۰ میلیون مترمکعب آن به استان‌های کرمان و یزد انتقال می‌یابد. این فاز در سه قطعه اجرا می‌شود. برای فاز دوم و سوم این طرح شیرین‌سازی و انتقال ۴۷۰ میلیون مترمکعب آب در سال پیش‌بینی شده است. طول خط انتقال آب در قطعه اول از فاز اول در حدود ۳۰۰ کیلومتر و تونلی به طول تقریبی ۱۶۷۰ متر در محدوده ۴ کیلومتری غرب حاجی‌آباد ایجاد می‌شود که دبی آن ۴ مترمکعب بر ثانیه است (شکل ۳).

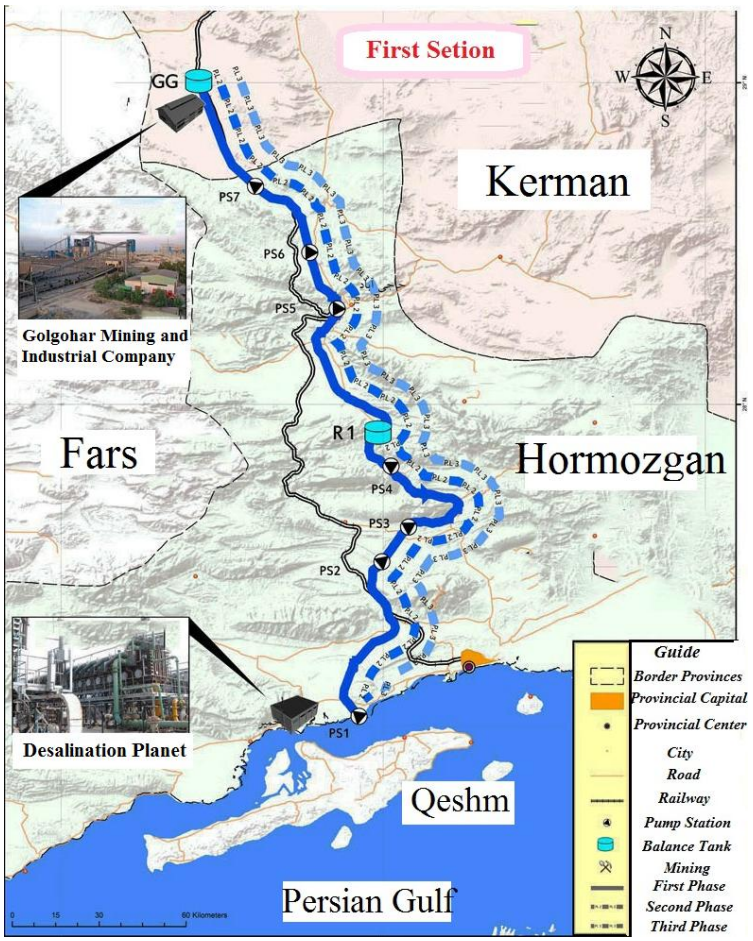

Fig. 3-Water supply from Persian Gulf- first section

شکل ۳- انتقال آب خلیج فارس- قطعه اول

طول خط انتقال قطعه دوم از فاز اول نیز حدود ۱۵۰ کیلومتر از معدن گل گهر سیرجان تا مجتمع مس سرچشمه کرمان با دبی ۲/۷ مترمکعب بر ثانیه است. طول مسیر اصلی خط انتقال آب از قطعه سوم فاز اول حدود ۳۷۰ کیلومتر از ایستگاه شماره سه قطعه دوم تا مجتمع فولاد اردکان یزد با دبی ۱/۵ مترمکعب بر ثانیه اجرا می‌شود (شکل ۴). تاکنون قطعه اول ۹۹ درصد، قطعه دوم ۸۴ درصد و قطعه سوم ۳۱ درصد پیشرفت تجمعی داشته است. هم‌زمان با اجرای پروژه انتقال آب خلیج‌فارس به یزد و کرمان در مسیر آزادسازی و جاده‌سازی شده خطوط انتقال این دو استان، لوله انتقال آب به استان اصفهان نیز عملیاتی می‌گردد (Nabavian pour, 2018).

در این تحقیق عدم اطمینان مربوط به وجود اطلاعات نامتقارن بین وزارت نیرو به‌عنوان مسئولان اجرایی و کشاورزان در صورت اجرای طرح ملی شیرین‌سازی و انتقال آب خلیج فارس به صنایع استان اصفهان با استفاده از بازی علامت‌دهی مدل شده است.

در حال حاضر در بالادست حوضه آبریز زاینده‌رود، آب مورد نیاز کشاورزان از طریق احداث بندها، شبکه‌های انهار سنتی و پمپاژ مستقیم از رودخانه تأمین می‌شود و عمدتاً مشکل خاصی در این زمینه وجود ندارد. از سوی دیگر در پایین‌دست سد زاینده‌رود به دلیل احداث و بهره‌برداری از شبکه‌های مدرن آبیاری و زهکشی و همچنین وجود کشاورزان با حق‌آبه طوماری و وجود حق‌آبه زیست‌محیطی تالاب گاوخونی در بخش انتهایی حوضه، عمدتاً تأمین حق‌آبه کشاورزان این بخش و حق‌آبه زیست‌محیطی تالاب با مشکل مواجه بوده است.

از سوی دیگر سطح زیر کشت زراعی آبی در حوضه آبریز گاوخونی معادل ۸۹/۶ درصد از کل سطح زیر کشت در حوضه است و بیشترین سطح زیر کشت نیز متعلق به محدوده مطالعاتی کوهپایه سگزی و نجف‌آباد است. تعداد نباتات زراعی در حوضه آبریز زاینده‌رود به دلیل تنوع شرایط اقلیمی بیش از ۵۰ گونه است.

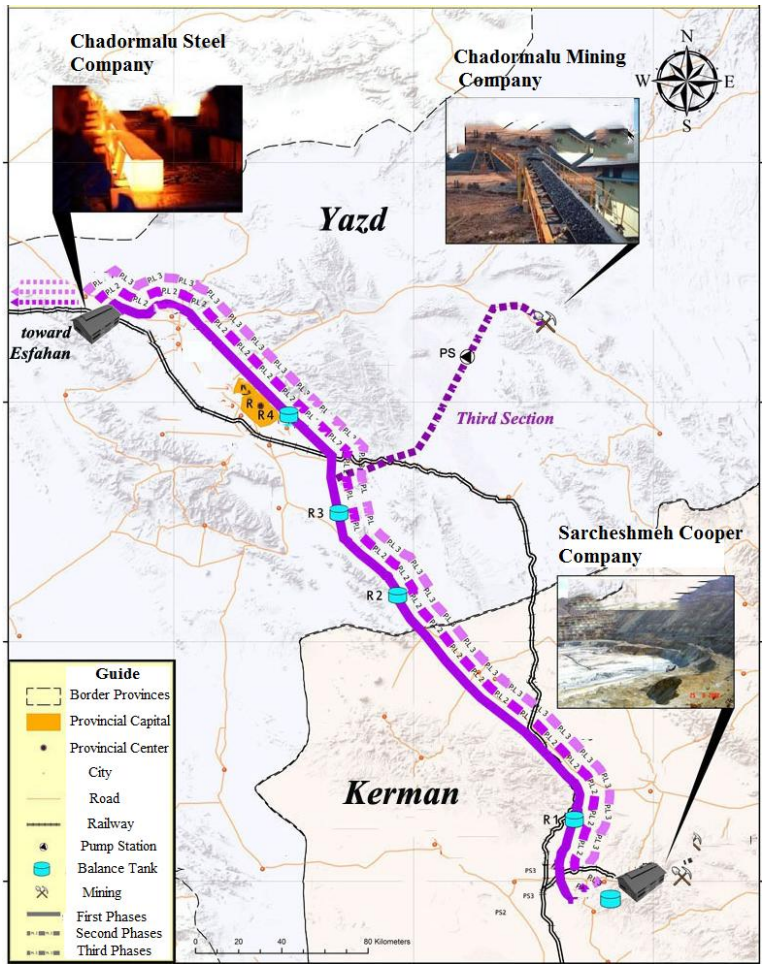

Fig. 4 -Water supply from Persian Gulf- third section

شکل ۴- انتقال آب خلیج فارس- قطعه سوم

برخی از نباتات مانند گندم، جو و یونجه به دلیل سازگاری در تمامی حوضه کاشت می‌شوند اما سهم گندم و جو در بازه‌های انتهایی حوضه بیشتر است. بر این اساس کشاورزان پایین‌دست سد زاینده‌رود که وزارت نیرو در تأمین آب موردنیاز آن‌ها با مشکل مواجه می‌شود عمدتاً غله کار هستند. ازآنجاکه کشت حق‌آبه‌داران رودخانه زاینده‌رود عمدتاً گندم هست و در مناطق مرکزی و شرق حوضه قرارگرفته‌اند؛ در این مطالعه جهت ساده‌سازی، تمرکز اصلی بر کشت این محصول استراتژیک و تضمینی صورت گرفته است.

واضح است که کشاورزان حوضه از طریق رسانه‌های جمعی از اجرایی شدن یا میزان پیشرفت طرح‌های انتقال آب مطلع می‌شوند. هرچند میزان دقیق آورد آبی این طرح‌ها برای مدیران وزارت نیرو روشن و مبرهن است؛ اما بنا به دلایل سیاسی و یا اجتماعی، ذی‌نفعان حوضه از جمله کشاورزان از آن مطلع نمی‌شوند. حتی ممکن است مدیران وزارت نیرو به خاطر مسائل سیاسی یا استراتژیک اطلاعات دقیقی در این زمینه منتشر نکنند. همان‌طور که بیان شد، پروژه ملی شیرین‌سازی و انتقال آب در سه فاز اجرا می‌شود. میزان آورد این طرح یا اجرای فازهای آن اطلاعات استراتژیک و محرمانه‌ای است. حساسیت این موضوع هم از جنبه هزینه‌ها و مسائل مالی و هم ازلحاظ تأثیر روانی بر روی جامعه مورد بحث است. قطعاً اعلام میزان آورد این طرح‌ها بر نحوه مصرف و صرفه‌جویی جامعه و عملکرد کشاورزان تأثیرگذار خواهد بود. لذا عمدتاً این اطلاعات توسط وزارت نیرو اعلام نمی‌شود. درواقع این ذی‌نفعان و در رأس آن‌ها کشاورزان هستند که باید از طریق علامت‌ها و نشانه‌های وزارت نیرو راجع به وضعیت بیلان حوضه و میزان آوردها تخمین زده و بر اساس آن تصمیم‌گیری کنند.

در این مدل دو حالت برای میزان پیشرفت طرح شیرین‌سازی و انتقال آب فرض شده است. حالت اول: فاز اول اجرا شود. حالت دوم: فاز اول و دوم اجرا شوند. در صورت اجرایی شدن فاز اول حدود ۷۰ میلیون مترمکعب و فاز اول و دوم حدود ۱۶۰ میلیون مترمکعب حجم آب به بیلان حوضه اضافه خواهد شد. بدیهی است که این مقادیر و احتمال وقوع آن برای وزارت نیرو مشخص است و بر اساس آن تصمیم‌گیری می‌کند. این اولین نقطه کلیدی وجود اطلاعات نامتقارن در حوضه است. در صورت اجرای کامل این پروژه، ۲۰۰ میلیون مترمکعب آب در سال و با قیمت حدودی ۵۰۰ هزار ریال برای هر مترمکعب به بخش صنعت اختصاص داده می‌شود. این حجم از آب، جایگزین آب برداشتی صنعت از رودخانه می‌شود و آب برداشتی رها شده تا به مصرف سایر ذی‌نفعان و نیاز محیط‌زیستی رودخانه زاینده‌رود و تالاب گاوخونی برسد. نحوه تخصیص آب رها شده توسط وزارت نیرو برای ذی‌نفعان مشخص نیست. ممکن است وزارت نیرو این حجم آب را به بخش کشاورزی یا محیط‌زیست اختصاص دهد یا بارگذاری جدید انجام دهد. این دومین نقطه کلیدی وجود اطلاعات نامتقارن بین ذی‌نفعان است که تلاش می‌شود با استفاده از بازی علامت‌دهی و با در نظر گرفتن وزارت نیرو به‌عنوان بازیکن با اطلاعات بیشتر و کشاورزان به‌عنوان بازیکن با اطلاعات کمتر مدل شود. در این مدل، سیاست پشت پرده درباره حجم آب اضافه شده به بیلان حوضه و نحوه تخصیص آن جهت ساده‌سازی به دو حالت حق‌آبه کشاورزی یا حق‌آبه تالاب گسسته می‌شود. در حالت اول ۶۰ درصد آب رها شده به کشاورزان و ۴۰ درصد مابقی صرف احیای تالاب گاوخونی می‌شود. در حالت دیگر ۶۰ درصد آب رها شده جهت احیای تالاب گاوخونی و ۴۰ درصد مابقی به کشاورزان اختصاص داده می‌شود؛ بنابراین در کل چهار حالت برای وزارت نیرو تعریف می‌شود.

در ادامه، میزان آب رها شده از سد زاینده‌رود جهت تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی به‌عنوان علامت برای وزارت نیرو تعریف می‌شود. تجربیات در سال‌های اخیر نشان داده است که در زمان وقوع خشک‌سالی بخش‌هایی که آب تخصیصی آن کاهش می‌یابد و حتی ممکن است به صفر برسد، کشاورزی و محیط‌زیست است. علت انتخاب، میزان آب رهاشده از سد و تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی به‌عنوان علامت وزارت نیرو به همین دلیل است. به‌عنوان مثال در زمان خشکسالی حجم آب رها شده از سد به شدت کاهش می‌یابد و بخش اعظمی از رودخانه خشک می‌شود. در این صورت ممکن است از نظر میزان آب موجود در وضعیت ضعیف یا متوسط باشیم؛ اما قطعاً در وضعیت مطلوب قرار نداریم. فرآیند تصمیم‌گیری برای تعیین میزان آب رها شده از سد و تخصیص آن به کشاورزان (گندم‌کاران) مطابق رابطه (۶) بر اساس آورد طبیعی و انتقالی سالانه در شرایط نرمال Inflow و اجرای طرح شیرین‌سازی و انتقال آب از خلیج فارس Trans صورت می‌گیرد. همچنین در بیلان آب سطحی مصارف شرب اصفهان بزرگ، انتقال به خارج از حوضه، صنایع، برداشت‌ها و تخصیص‌ها در چهارمحال بختیاری، تغذیه آب زیرزمینی سایر کشاورزان پایین‌دست و مصارف خارج از انتظار نیز با ترم Demand در نظر گرفته می‌شود. فضای علامت‌های ارسالی توسط وزارت نیرو جهت ساده‌سازی به دو حالت گسسته می‌شود. در این مدل به ازای هر میزان آورد طرح ملی انتقال آب از خلیج فارس، وزارت نیرو ۶۰ درصد یا ۸۰ درصد حق‌آبه کشاورزان گندم‌کار را از سد تأمین می‌کند (رابطه(۷)). لازم به ذکر است که این درصدها با توجه به سابقه

تاریخی تخصیص‌ها و اعداد متوسط حوضه تعیین شده است.

$$\text{Release}_i = \alpha_i(\text{Inflow} + \text{Trans}_i - \text{Demand}) \quad (۶)$$

$$\alpha_1 = 0.6, \alpha_2 = 0.8 \quad (۷)$$

از سوی دیگر، وزارت نیرو ممکن است در ارسال اطلاعات به بخش کشاورزی به‌صورت گزینشی عمل کند؛ یعنی اطلاعاتی را به کشاورزان منتقل کند تا آن‌ها عملی را در راستای منافع خودشان انجام دهند. اگر کشاورزان به این نیت وزارت نیرو مطلع باشند باید صحت یا عدم صحت اطلاعات اخذ شده را مورد بررسی قرار داده و سپس استراتژی خود را عملی کنند. کشاورزان به‌عنوان گیرنده در بازی موردنظر، از روی سیاست‌های اتخاذی وزارت نیرو در میزان آب رهاشده از سد و تأمین حق‌آبه کشاورزان گندم‌کار از سد می‌توانند وضعیت آورد این طرح شیرین‌سازی و انتقال و بیلان آب در منطقه را حدس زده و سپس راجع به افزایش سطح زیر کشت یا کاهش سطح زیر کشت تصمیم‌گیری کنند.

مساحت زیر کشت تخمینی که کشاورزان در ابتدای سال آبی بر اساس علامت‌های وزارت نیرو و باور تخمینی خود اتخاذ می‌کند، با A_{sup} نمایش داده می‌شود. مساحت زیر کشت تخمینی جهت ساده‌سازی به دو حالت (۸) و (۹) گسسته‌سازی شده است. A_{fix} مساحت زیر کشت میانگین درازمدت گندم در قسمت میانی و شرق حوضه است که برابر با ۲۳۰۰۰ هکتار در نظر گرفته شده است. البته باید توجه داشت که به دلیل کیفیت نامناسب منابع آب زیرزمینی در پایین‌دست حوضه سهم آب سطحی در تأمین کشت گندم ۱۰۰ درصد و سهم آب زیرزمینی ناچیز در نظر گرفته شده است.

$$A_1 = 0.9 \times A_{fix} \quad (۸)$$

$$A_2 = 1.1 \times A_{fix} \quad (۹)$$

A_{real} مساحت زیر کشت واقعی است که در انتهای سال آبی بر اساس میزان آب تخصیصی وزارت نیرو و با علنی شدن سیاست پشت پرده به باردهی می‌رسد. مساحت زیر کشت واقعی بر اساس میزان آب اختصاصی به کشاورزان و طبق رابطه (۱۰) و (۱۱) تعیین می‌گردد:

$$\text{str1}_{\text{behid}} = \begin{Bmatrix} \text{xagr}_i = 0.6\,\text{Release}_i \\ \text{xenv}_i = 0.4\,\text{Release}_i \end{Bmatrix} \quad (۱۰)$$

$$\text{Areal}_{bh1} = \frac{\text{xagr}_i}{\text{Demand}}$$

$$\text{str2}_{\text{behid}} = \begin{Bmatrix} \text{xagr}_i = 0.4\,\text{Release}_i \\ \text{xenv}_i = 0.6\,\text{Release}_i \end{Bmatrix} \quad (۱۱)$$

$$\text{Areal}_{bh2} = \frac{\text{xagr}_i}{\text{Demand}}$$

۳-۱- فرضیات

فرضیات در نظر گرفته‌شده در این تحقیق عبارت‌اند از:

۱- همه مقادیر متغیر تصمیم‌ها و توابع مطلوبیت مثبت هستند،

۲- میزان آب انتقالی از حوضه زاینده‌رود به یزد و کاشان در معادله بیلان لحاظ شده است، اما از مناقشات موجود پیرامون این انتقال صرف‌نظر شده است،

۳- نیاز شرب همواره به طور کامل و نیاز صنعت و سایر کشاورزان به‌طور معقول و مناسبی تأمین می‌شود،

۴- سهم آب زیرزمینی در تأمین نیاز آبی کشت گندم ناچیز در نظر گرفته شده است،

۵- تمرکز اصلی بر کشت گندم در قسمت میانی و شرق حوضه آبریز زاینده‌رود است. جهت ساده‌سازی از تفکیک مکانی آن‌ها خودداری شده است. علاوه بر این فرض شده است که کل کشاورزان میانی و شرق حوضه راجع به سطح زیر کشت تصمیم هماهنگی می‌گیرند.

۳-۲- فرموله کردن مسأله

همان‌طور که گفته شد، استراتژی کشاورزان کاهش یا افزایش سطح زیر کشت نسبت به میانگین درازمدت با اهداف اقتصادی در نظر گرفته شده است. کشاورزان با مشاهده علامت وزارت نیرو مبنی بر میزان آب تخصیصی از سد برای کشاورزان گندم‌کار، راجع به حالت وزارت نیرو باوری تشکیل داده، حدسی می‌زنند و سپس راجع به سطح زیر کشت خود تصمیم‌گیری می‌کنند. مساحت زیر کشت تخمینی که کشاورز در ابتدای سال آبی بر اساس علامت‌های وزارت نیرو و باور تخمینی خود اقدام به کشت می‌کند، با A_{sup} نمایش داده می‌شود. A_{real} مساحت زیر کشت واقعی است که در انتهای سال آبی بر اساس میزان آب تخصیصی وزارت نیرو به باردهی می‌رسد. همچنین مقیاس زمانی سالانه در نظر گرفته می‌شود. تابع مطلوبیت کشاورزان به‌عنوان گیرنده به‌صورت (۱۲) تعریف می‌شود.

$$U_{agr} = \text{Benefit} - \text{Cost} \quad (۱۲)$$

$$\text{Benefit} = \text{Pr}.Y.\text{Areal} + \frac{1}{3}\text{Pr}.Y.(A\,\text{sup} - \text{Areal}) \quad (۱۳)$$

$$\text{Cost} = \text{Ccost}_m.A\,\text{sup} + \text{Pr water} \cdot \text{Areal} \cdot \text{Demand} \quad (۱۴)$$

در رابطه (۱۳)، Pr قیمت خرید تضمینی هر کیلوگرم گندم و Y باردهی گندم است. عبارت دوم سود کشاورزان، خسارت نکاشت است که توسط وزارت نیرو به کشاورزان پرداخت می‌شود. وزارت نیرو موظف است که در پایان سال آبی به میزان یک‌سوم سودی که کشاورز در صورت کاشت به دست می‌آورد را به‌عنوان خسارت به کشاورز بپردازد.

در رابطه (۱۴)، Ccost هزینه تولید گندم در یک هکتار است که شامل خرید زمین، آماده‌سازی زمین، کاشت، داشت و برداشت است. Pr water هزینه خرید آب از وزارت نیرو و Demand نیاز آبی گندم است. تابع مطلوبیت برای وزارت نیرو به‌عنوان فرستنده به‌صورت (۱۵) تعریف می‌شود.

$$U_{ME} = U_1 + U_2 + U_3 - U_4 \quad (۱۵)$$

بخش اول تابع مطلوبیت وزارت نیرو (۱۶)، سود حاصل از فروش آب به بخش کشاورزی است:

$$U_1 = \Pr water \cdot Areal \cdot Demand \quad (۱۶)$$

بخش دوم تابع مطلوبیت وزارت نیرو (۱۷)، سود حاصل از تأمین آب بخش محیطزیست است. تالاب گاوخونی یکی از ۱۹ تالاب بین‌المللی ایران است که از تنوع بالای زیستی و ژنتیکی برخوردار است. حق‌آبه محیطزیستی تالاب گاوخونی ۱۷۶ میلیون مترمکعب در سال است. در سال‌های اخیر کاهش آب ورودی و ورود فاضلاب به تالاب آن را به ورطه نابودی کشانده است. ارزش اقتصادی تالاب گاوخونی به صید، شکار، پرورش ماهیان و آبزیان است. با کاهش آب اختصاصی به بخش محیطزیست، خسارات و هزینه‌های زیادی به حوضه وارد شده است. آب مـــوردنیاز تالاب تنها بـــا آب سطحی تأمین می‌گـــردد (Tavakoli-Nabavi, 2011).

$$U_2 = 639/6 \times X_{ENV} - 7497 \quad (۱۷)$$

در رابطه (۱۷)، X_{ENV} میزان آب تخصیصی به بخش محیطزیست است. بخش سوم (رابطه ۱۸) تابع مطلوبیت وزارت نیرو، ارزش اقتصادی حجم آب باقی‌مانده پشت سد برای سال آبی بعدی است:

$$U_3 = C_b(S_{end} - S_{desired}) \quad (۱۸)$$

که در این رابطه S_{end} حجم آب موجود پشت سد در انتهای سال آبی و $S_{desired}$ حجم آب مطلوب پشت سد در انتهای سال آبی است. C_b بیانگر میزان ارزش اقتصادی مترمکعب میزان حجم آب ذخیره شده است.

$$S_{end} = S_{be} + Inflow + Trans_i - Release_i \quad (۱۹)$$

حجم آب موجود پشت سد با استفاده از رابطه (۱۹) محاسبه می‌شود. S_{be} حجم آب پشت سد در ابتدای سال آبی، Trans میزان آب انتقالی از طرح ملی خلیج فارس، Inflow آورد مشابه میانگین درازمدت حوضه شامل آورد طبیعی و انتقالی و Release میزان آب رها شده از سد برای کشاورزان گندم‌کار است. بخش چهارم تابع مطلوبیت وزارت نیرو (۲۰) هزینه ناشی از خسارت نکاشت است که باید به کشاورزان پرداخت کند:

$$U_4 = \frac{1}{3}\Pr.Y.(A\,sup - Areal) \quad (۲۰)$$

فرم بسط یافته بازی شامل بازیکنان، حالت‌ها، استراتژی‌ها و ترتیب تصمیم‌گیری بازیکنان در شکل ۵ نشان داده شده است.

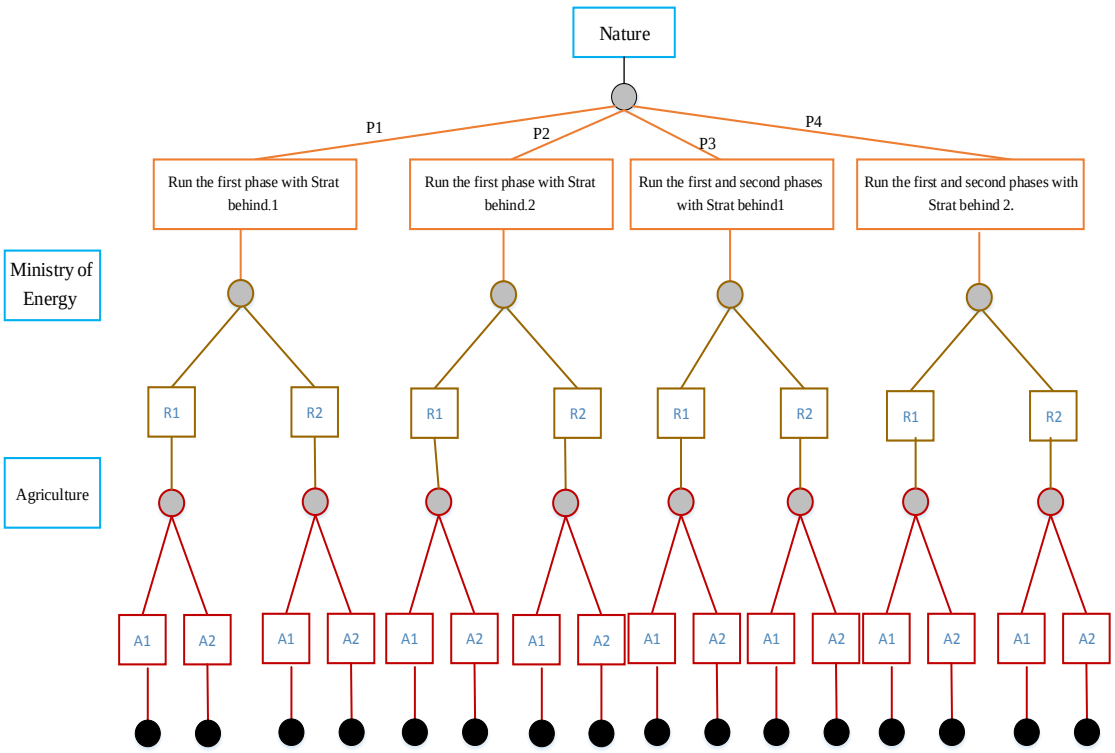

Fig. 5- Dynamic game considering uncertainties about types of Ministry of Energy

شکل ۵- بازی پویا با لحاظ کردن عدم قطعیت‌ها در باره حالت‌های وزارت نیرو

نتایج مربوط به تابع مطلوبیت وزارت نیرو و کشاورزان جهت درک بهتر در جدول ۱ نمایش داده‌شده است.

۴- نتایج و بحث

در ابتدای بازی بخش کشاورزی باید یک ارزیابی ذهنی به همراه یک توزیع احتمالاتی شرطی در ذهن خود راجع به حالت‌های مختلف تصمیمات وزارت نیرو به ازای دریافت علامت‌های مشخص داشته باشد. در صورت اجرایی شدن طرح ملی شیرین‌سازی و انتقال آب و با توجه به شرایط هیدرولوژیکی و پیش‌بینی‌های عمومی هواشناسی برای هر سال آبی، کشاورزان تخمینی راجع به میزان آب تخصیصی به کشاورزان می‌زنند و بر اساس آن راجع به سطح زیرکشت خود تصمیم‌گیری می‌کنند. البته وزارت نیرو از میزان آب تخصیصی به شبکه‌های آبیاری، بخش صنعت، شرب و غیره اطلاع دارد و بر اساس آن میزان آب خروجی از سد را تعیین می‌کند.

کشاورزان تلاش می‌کنند که بهترین استراتژی خود را انتخاب کنند؛ اما مشکل اینجاست که از حالت دقیق تصمیمات وزارت نیرو و سیاست پشت پرده اطلاعی ندارد و بنابراین نمی‌داند که دقیقاً در کدام گره اطلاعاتی قرار دارد. با ارسال علامت از سوی وزارت نیرو (میزان آب تخصیصی از سد برای کشاورزان) حدس کشاورزان با استفاده از قانون بیز تعیین می‌شود و سپس راجع به سطح زیر کشت خود تصمیم‌گیری می‌کنند.

تعادل بیژین نش کامل پاسخ به این سؤال است که بازیکنان چه استراتژی را در این بازی باید انتخاب کنند. وزارت نیرو چهار مجموعه اطلاعاتی دارد که احتمال وقع آن‌ها یکسان و برابر $\frac{1}{4}$ است. وزارت نیرو در هر مجموعه اطلاعاتی می‌تواند دو علامت ۶۰ درصد و ۸۰ درصد تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی $\{R1, R2\}$ را ارسال کند؛ بنابراین وزارت نیرو ۱۶ استراتژی خالص دارد. برای مثال [R1, R2, R1, R2] نشان‌دهنده این است که وزارت نیرو اگر از نوع اجرای فاز اول با استراتژی پشت پرده اول و اجرای فاز اول و دوم با استراتژی پشت پرده اول بود پیغام ۶۰ درصد تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی و اگر از نوع اجرای فاز اول با استراتژی پشت پرده دوم و اجرای فاز اول و دوم با استراتژی پشت پرده دوم بود پیغام ۸۰ درصد تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی را ارسال می‌کند.

از سوی دیگر، کشـــــاورزان دارای دو مجموعه اطلاعاتی $\{R1, R2\}$ هستند که هرکدام شامل دو گره تصمیم‌گیری است و در هر مجموعه اطلاعاتی می‌توانند کاهش سطح زیر کشت یا افزایش سطح زیر کشت را انتخاب کند؛ بنابراین هر استراتژی کشاورزان مجموعه دو عضوی است که به ترتیب اولی نشان‌دهنده عمل او در مجموعه اطلاعاتی ۶۰ درصد تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی و دومی در مجموعه اطلاعاتی ۸۰ درصد تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی است. برای مثال [A1, A2] نشان‌دهنده این است که کشاورزان در صورت دریافت علامت ۶۰ درصد تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی، عمل کاهش سطح زیر کشت و در صورت دریافت علامت ۸۰ درصد تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی، عمل افزایش سطح زیر کشت را اتخاذ می‌کند.

ازآنجایی‌که هر تعادل بیژین نش کامل یک تعادل نش بیژین[۳۴] نیز هست، ابتدا تمام تعادل‌های بیژین بازی را پیدا کرده و سپس بررسی می‌شود که آیا این تعادل‌ها می‌توانند تعادل بیژین نش کامل باشند یا خیر. استراتژی در تعادل نش بیژین، بیژین نش کامل است که بتوان برای بازیکنان باوری یافت که دارای دو شرط باشد. اول آن‌که باورها با استراتژی خودشان و قانون بیز سازگار باشند و دوم آن‌که عقلانی باشند.

جهت یافتن تعادل بیژین نش، بازی را از فرم بسط یافته به فرم استراتژیک تبدیل کرده و با استفاده از روش‌های معمول تعادل نش پیدا می‌شود. در این بازی تعادل نش همان تعادل بیژین نش خواهد بود. فرم استراتژیک بازی بین کشاورزان و وزارت نیرو با ۱۶ و ۴ استراتژی خالص و با استفاده از قانون بیز در محاسبه پیامدها در جدول ۲ ارائه شده است. در راستای یافتن تعادل نش در فرم استراتژیک و جهت کاهش محاسبات از روش حذف پیاپی استراتژی‌های کاملاً مغلوب[۳۵] استفاده می‌شود با این تفاوت که در اینجا اطلاعات ناقص است و فقط می‌توان برای بازیکن مطلع استراتژی کاملاً مغلوب را حذف کرد. چون حتی اگر یک عملی کاملاً مغلوب باشد، استراتژی‌هایی دربرگیرنده آن عمل تنها در شرایطی مغلوب ضعیف نیستند که مجموعه اطلاعاتی شامل آن عمل همیشه احتمال مثبت داشته باشد. درواقع در این بازی ممکن است وزارت نیرو استراتژی کاملاً مغلوب داشته باشد؛ اما کشاورزان استراتژی کاملاً مغلوب نخواهند داشت؛ زیرا ممکن است در بازی مجموعه اطلاعاتی با احتمال مثبت حاصل نشود. به‌عبارت‌دیگر بازیکن گیرنده استراتژی کاملاً مغلوب دارد تنها اگر این بازیکن عمل کاملاً مغلوب را در هر یک از مجموعه اطلاعاتی خودش بازی کند.

Table 1- Ministry of energy and agriculture sector payoff considering uncertainties about types of Ministry of Energy

جدول ۱- تابع مطلوبیت وزارت نیرو و کشاورزان با لحاظ کردن عدم قطعیت‌ها در باره حالت‌های وزارت نیرو

Nature															
Run the first phase with Strategy behind 1				Run the first phase with Strategy behind 2.				Run the first and second phases with Strategy behind 1.				Run the first and second phases with Strategy behind 2.			
Ministry of Energy															
Dam water release (MCM)								Dam water release (MCM)							
R1=60%(126)		R2=80%(168)		R1=60%(126)		R2=80%(168)		R1=60%(180)		R2=80%(240)		R1=60%(180)		R2=80%(240)	
Agricultural Sector															
Wheat Cultivation Area (ha)															
A1 (207000)	A2 (25300)	A1 (207000)	A2 (25300)	A1 (207000)	A2 (25300)	A1 (207000)	A2 (25300)	A1 (207000)	A2 (25300)	A1 (207000)	A2 (25300)	A1 (207000)	A2 (25300)	A1 (207000)	A2 (25300)
Payoff of Ministry of Energy (10^{11} Rials)															
165/40	163/70	162/44	160/74	164/42	162/72	161/14	159/44	170/60	168/90	166/38	164/67	169/2	167/5	164/52	162/82
Payoff of the agricultural sector (10^{11} Rials)															
3/22	2/62	5/19	4/6	1/25	0/65	2/57	1/97	5/76	5/16	8/57	7/98	2/94	2/34	4/82	4/22

در یک بازی، استراتژی غالب[۳۶] برای یک بازیکن استراتژی است که انتخاب آن به انتخاب تمام استراتژی‌های دیگر او ارجحیت دارد، زیرا پیامد حاصل از این استراتژی برای آن بازیکن نسبت به سایر استراتژی‌هایش مطلوب‌تر است. به استراتژی‌های دیگر آن بازیکن استراتژی مغلوب گفته می‌شود. عقلانی است که در این حالت بدون توجه به هر استراتژی که بازیکن حریف انتخاب کند، آن بازیکن همان استراتژی غالب را انتخاب می‌کند. لذا به این تعادل، تعادل استراتژی غالب گفته می‌شود.

با بررسی استراتژی‌های وزارت نیرو مشخص می‌شود که استراتژی [R1, R1, R1, R1] استراتژی کاملاً غالب است. به این معنا که ترکیب استراتژی که در آن وزارت نیرو در تمام چهار حالت، عمل تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی به میزان ۶۰ درصد را اتخاذ کند از تمامی استراتژی‌هایش مطلوب‌تر است. به بیان دیگر در شکل ۶ مشهود است که استراتژی [R1, R1, R1, R1] وزارت نیرو در مقایسه با ۱۵ استراتژی دیگر و به ازای هر ۴ استراتژی کشاورزان از مطلوبیت بهتری برخوردار است. به طور مثال با مقایسه استراتژی [R1, R1, R1, R1] با استراتژی [R2, R1, R1, R1] مشخص می‌شود که در حالت اول (اجرای فاز اول و سیاست پرده اول) به ازای هر انتخابی که کشاورزان داشته باشند، هیچ‌گاه عمل R2 (تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی به میزان ۸۰ درصد) با پیامد 1.667E+13ریال را بازی نمی‌کند بلکه تصمیم بهینه برای وزارت نیرو در حالت اول این است که عمل R1 (تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی به میزان ۶۰ درصد) را انتخاب کند تا پیامد 1.674E+13ریال را کسب کند. به همین ترتیب و با مقایسه برای حالت‌های مختلف می‌توان به استراتژی کاملاً غالب وزارت نیرو رسید. با حذف استراتژی‌های مغلوب وزارت نیرو، ماتریس پیامد بازی به شکل ارائه شده در جدول ۳ کاهش می‌یابد.

مطابق جدول ۳، وزارت نیرو استراتژی [R1, R1, R1, R1] را با احتمال ۱ انتخاب می‌کند چون استراتژی غالب اکید بازیکن است. از سوی دیگر پیامد کشاورز برای دو استراتژی [A1, A1] و [A1, A2] یکسان است. لذا کشاورز بین این دو بی‌تفاوت است و با احتمال $\frac{1}{2}$ به‌صورت مختلط[۳۷] تصمیم‌گیری می‌کند. استراتژی مختلط برای هر بازیکن، توزیع احتمالی روی استراتژی‌های خالص آن بازیکن است (Abdoli Ghahreman, 2012). درنهایت در تعادل نش غالب استراتژی این بازی [R1, R1, R1, R1] با احتمال ۱ و استراتژی [A1, A1] و [A1, A2] با احتمال $\frac{1}{2}$ انتخاب می‌شود. همان‌طور که قبلاً بیان شد منظور از ترکیب استراتژی [A1, A2] برای کشاورزان به این معناست که در صورت دریافت علامت R1 از سوی وزارت نیرو عمل A1 و در صورت دریافت علامت R2 عمل A2 را اتخاذ می‌کند.

لذا تعادل این بازی به‌صورت بیان شده در شکل ۷ خواهد بود. این تعادل یک تعادل یک‌کاسه است به این معنا که وزارت نیرو در هر حالتی که باشد علامت یکسانی را (R1) به کشاورزان ارسال می‌کند. همچنین کشاورزان در صورت مشاهده علامت R1 عمل A1 و در صورت مشاهده علامت R2 به‌صورت مختلط عمل A1 و A2 را انتخاب می‌کنند. در صورت اتخاذ این تعادل توسط بازیکنان پیامد حاصل برای وزارت نیرو و کشاورزان به ترتیب 1.674E+13و 3.293E+11 ریال خواهد بود.

حال باید بررسی کرد که آیا این تعادل، می‌تواند تعادل بیژین نش کامل باشد یا خیر؟ در این تعادل، دو مجموعه اطلاعاتی کشاورز با احتمال مثبت حاصل می‌شود. زمانی که در یک تعادل بیژین نش، تمام مجموعه اطلاعاتی با احتمال مثبت حاصل شود آن تعادل نش حتماً تعادل بیژین نش کامل است؛ زیرا در غیر این صورت بازیکنان تمایل به تغییر دارند. به‌صورت برهان خلف می‌توان گفت که اگر تعادل بیژین نش کامل نباشد بنابراین بازیکنی وجود دارد که با توجه به باور خود عمل بهینه را انتخاب نکرده است؛ اما ازآنجایی‌که تمام مجموعه اطلاعاتی با احتمال مثبت حاصل شده است بازیکنی که عمل بهینه خود را انتخاب نکرده می‌تواند با تغییر عمل خود در همان مجموعه اطلاعاتی پیامد انتظاری خود را افزایش دهد. لذا ثابت می‌شود که این تعادل، تعادل بیژین نش کامل نیز هست. در انتها باید به ازای این تعادل باوری را سازگار با قانون بیز پیدا کرد که در آن هر بازیکن در هر مجموعه اطلاعاتی عمل بهینه را اتخاذ کند. از آن جایی که در این تعادل تمام مجموعه اطلاعاتی با احتمال مثبت حاصل شده است؛ این باور یکتاست. طبق شروط ۱ و ۳ باور کشاورزان در مجموعه اطلاعاتی R1 روی مسیر تعادل قرار دارد و با توجه به استراتژی وزارت نیرو مطابق رابطه (۲۱) تعیین می‌شود:

$$\mu(t_1|R_1)=\frac{P(R_1|t_1).P(t_1)}{P(R_1|t_1).P(t_1)+P(R_1|t_2).P(t_2)+P(R_1|t_3).P(t_3)+P(R_1|t_4).P(t_4)}=\frac{1}{4} \qquad (۲۱)$$

Table 2-The payoff matrix in signaling game (Rials)

جدول ۲- ماتریس پیامد در بازی علامت‌دهی (ریال)

Payoff	ME	Agriculture	ME	Agriculture	ME	Agriculture	ME	Agriculture
[R1, R1, R1, R1]	1/674E+13	3/293E+11	1/674E+13	3/293E+11	1/657E+13	2/693E+11	1/657E+13	2/693E+11
[R1, R1, R1, R2]	1/662E+13	3/763E+11	1/658E+13	3/613E+11	1/650E+13	3/313E+11	1/645E+13	3/163E+11
[R1, R1, R2, R1]	1/664E+13	3/995E+11	1/659E+13	3/848E+11	1/651E+13	3/545E+11	1/646E+13	3/398E+11
[R1, R1, R2, R2]	1/652E+13	4/465E+11	1/643E+13	4/168E+11	1/643E+13	4/165E+11	1/635E+13	3/868E+11
[R1, R2, R1, R1]	1/666E+13	3/623E+11	1/662E+13	3/473E+11	1/653E+13	3/173E+11	1/649E+13	3/023E+11
[R1, R2, R1, R2]	1/6542E+13	4/093E+11	1/646E+13	3/793E+11	1/646E+13	3/793E+11	1/637E+13	3/493E+11
[R1, R2, R2, R1]	1/655E+13	4/325E+11	1/647E+13	4/028E+11	1/647E+13	4/025E+11	1/638E+13	3/728E+11
[R1, R2, R2, R2]	1/644E+13	4/795E+11	1/631E+13	4/348E+11	1/639E+13	4/65E+11	1/627E+13	4/198E+11
[R2, R1, R1, R1]	1/667E+13	3/785E+11	1/662E+13	3/638E+11	1/654E+13	3/335E+11	1/650E+13	3/188E+11
[R2, R1, R1, R2]	1/655E+13	4/255E+11	1/646E+13	3/958E+11	1/646E+13	3/955E+11	1/638E+13	3/658E+11
[R2, R1, R2, R1]	1/656E+13	4/488E+11	1/648E+13	4/193E+11	1/648E+13	4/188E+11	1/639E+13	3/893E+11
[R2, R1, R2, R2]	1/644E+13	4/958E+11	1/632E+13	4/513E+11	1/640E+13	4/808E+11	1/627E+13	4/363E+11
[R2, R2, R1, R1]	1/658E+13	4/115E+11	1/650E+13	3/818E+11	1/650E+13	3/815E+11	1/641E+13	3/518E+11
[R2, R2, R1, R2]	1/647E+13	4/585E+11	1/634E+13	4/138E+11	1/643E+13	4/435E+11	1/630E+13	3/988E+11
[R2, R2, R2, R1]	1/648E+13	4/818E+11	1/635E+13	4/373E+11	1/644E+13	4/668E+11	1/631E+13	4/223E+11
[R2, R2, R2, R2]	1/636E+13	5/288E+11	1/619E+13	4/693E+11	1/636E+13	5/288E+11	1/619E+13	4/693E+11

Player1:ME

Fig. 6- Dynamic game considering uncertainties about types of Ministry of Energy

شکل ۶- بازی پویا با لحاظ کردن عدم قطعیت‌ها درباره حالت‌های وزارت نیرو

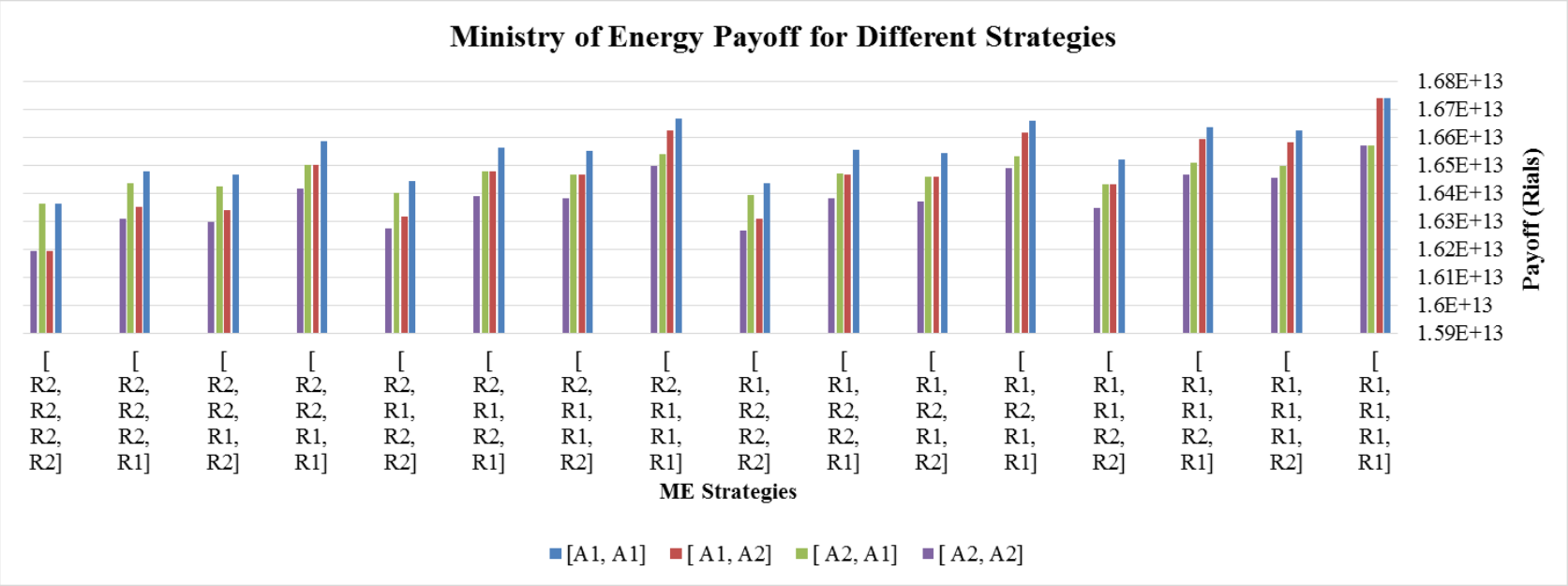

Table 3- The payoff matrix after eliminate strictly dominated strategies (Rials)

جدول ۳- ماتریس پیامد بعد از حذف استراتژی‌های کاملاً مغلوب (ریال)

	Player2: Agricultural sector							
	[A1, A1]		[A1, A2]		[A2, A1]		[A2, A2]	
Payoff	**ME**	**Agriculture**	**ME**	**Agriculture**	**ME**	**Agriculture**	**ME**	**Agriculture**
[R1, R1, R1, R1]	**1/674E+13**	**3/293E+11**	1/674E+13	3/293E+11	1/657E+13	2/693E+11	1/657E+13	2/693E+11

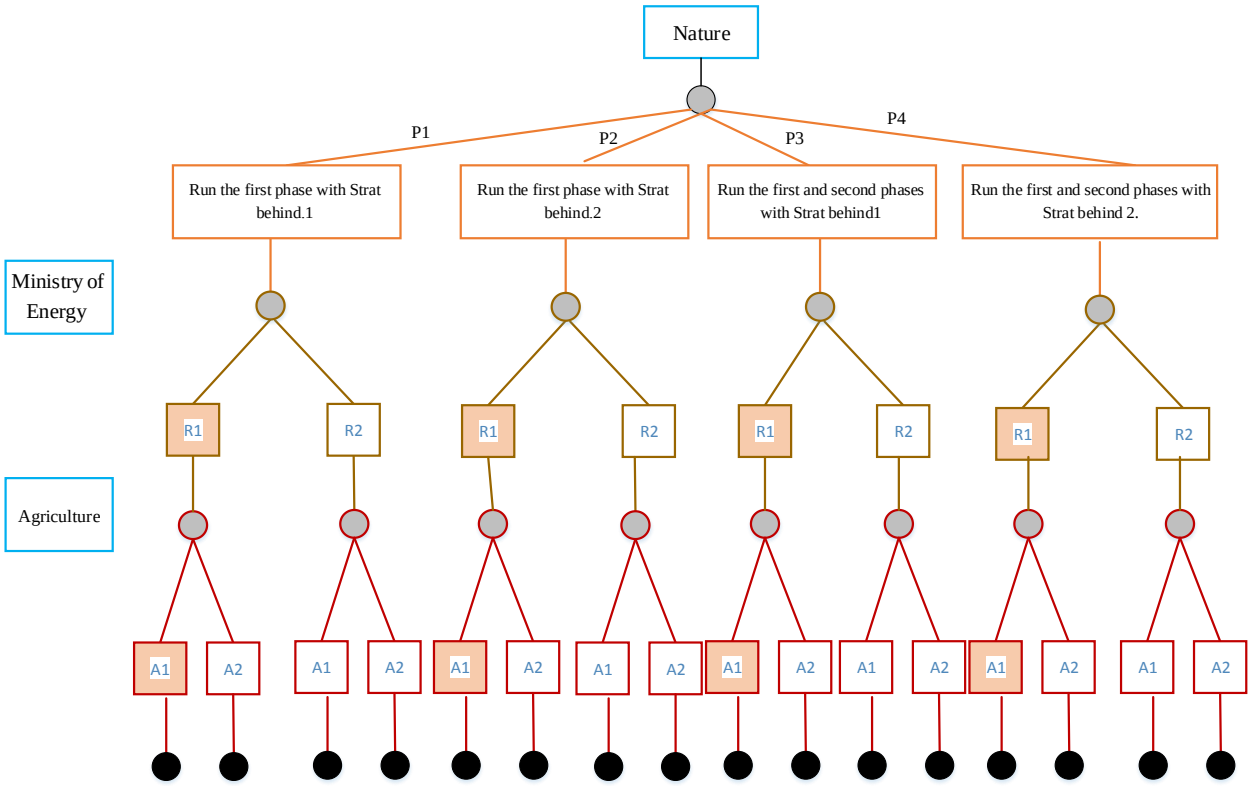

Fig. 7- Pooling equilibrium of the game (R1R1R1R1, A1A1)

شکل ۷- تعادل یک‌کاسه بازی (R1R1R1R1, A1A1)

این تعادل به این معناست:

- ✓ حالت اول: درصورتی‌که پروژه شیرین‌سازی و انتقال آب در فاز اول اجرا شود، ۷۰ میلیون مترمکعب آب به بیلان حوضه اضافه شود و وزارت نیرو سیاست احقاق حق‌آبه کشاورزی را در پیش بگیرد به‌طوری‌که ۶۰ درصد آب رها شده از سد زاینده‌رود به مصرف کشاورزی برسد و ۴۰ درصد مابقی صرف احیای تالاب گاوخونی شود وزارت نیرو سیاست ۶۰ درصد تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی را اتخاذ می‌کند. در این حالت وزارت نیرو اگر به جای استراتژی ۶۰ درصد استراتژی ۸۰ درصد تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی را اتخاذ کند، پیامد آن از ۱۶۵.۴×۱۰^{۱۱} ریال به ۱۶۲.۴۴×۱۰^{۱۱} ریال کاهش می‌یابد؛ لذا تصمیم بهینه‌ای گرفته است. در این سیاست، وزارت نیرو از کل ۱۵۰۰ میلیون مترمکعب ورودی آب به سد به میزان ۱۲۶ میلیون مترمکعب آب در مقایسه با سیاست ۸۰ درصد تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی (۱۶۸) میلیون مترمکعب از سد رها می‌کند. از این میزان آب رها شده $۱۲۶\times۰.۶=۷۵.۶$ میلیون مترمکعب را به کشاورزان اختصاص می‌دهد و ۵۰.۴ میلیون مترمکعب را صرف احیای تالاب می‌کند. از سوی دیگر کشاورزان با مشاهده علامت R1 عمل A1 سیاست کاهش سطح زیر کشت را اتخاذ می‌کنند و به میزان ۲۰۷۰۰۰ هکتار اقدام به کاشت گندم می‌کنند. پیامد کل وزارت نیرو از این ترکیب استراتژی ۱۶۵.۴×۱۰^{۱۱} ریال است که ۰.۳۰۲×۱۰^{۱۱} سود حاصل از فروش آب به بخش کشاورزی، ۰.۲۴۷×۱۰^{۱۱} سود حاصل از تأمین آب تالاب، ۱۶۹.۴×۱۰^{۱۱} سود حاصل از ارزش اقتصادی حجم آب باقی‌مانده پشت سد برای سایر مصارف و ۴.۵۵×۱۰^{۱۱} هزینه پرداخت خسارت نکاشت به کشاورزان است. پیامد کشاورزان نیز از این استراتژی ۳.۲۲×۱۰^{۱۱} ریال است. درصورتی‌که کشاورزان سیاست افزایش سطح زیر کشت را انتخاب کنند سود آن‌ها به ۲.۶۲×۱۰^{۱۱} ریال کاهش می‌یابد در این ترکیب استراتژی سطح زیر کشت واقعی که در انتهای سال آبی و بر اساس میزان آب تخصیصی وزارت نیرو به زیر کشت می‌رود ۸۴۰۰ هکتار است درصورتی‌که مساحت زیر کشت تخمینی کشاورز در ابتدای سال آبی ۲۰۷۰۰۰ هکتار بوده است.
- ✓ حالت دوم: درصورتی‌که پروژه شیرین‌سازی و انتقال آب در فاز اول اجرا شود، ۷۰ میلیون مترمکعب آب به بیلان حوضه اضافه شود و وزارت نیرو سیاست احقاق حق‌آبه تالاب را در پیش بگیرد

به‌طوری‌که ۶۰ درصد آب رها شده از سد زاینده‌رود صرف احیای تالاب شود و ۴۰ درصد مابقی به مصرف کشاورزی برسد؛ وزارت نیرو سیاست ۶۰ درصد تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی را اتخاذ می‌کند. در این حالت وزارت نیرو اگر به جای استراتژی ۶۰ درصد استراتژی ۸۰ درصد تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی را اتخاذ کند، پیامد آن از $۱۰^{۱۱} \times ۱۶۴.۴۲$ ریال به $۱۰^{۱۱} \times ۱۶۱.۱۴$ ریال کاهش می‌یابد. لذا تصمیم بهینه‌ای گرفته است. در این سیاست، وزارت نیرو از کل ۱۵۰۰ میلیون مترمکعب ورودی آب به سد به میزان ۱۲۶ میلیون مترمکعب آب در مقایسه با سیاست ۸۰ درصد (۱۶۸) میلیون مترمکعب از سد رها می‌کند. از این میزان آب رها شده $۱۲۶ \times ۰.۶ = ۷۵.۶$ میلیون مترمکعب را صرف احیای تالاب می‌کند و ۵۰.۴ میلیون مترمکعب را به کشاورزان اختصاص می‌دهد. از سوی دیگر کشاورزان با مشاهده علامت R1 عمل A1 سیاست کاهش سطح زیر کشت را اتخاذ می‌کنند و به میزان ۲۰۷۰۰۰ هکتار اقدام به کاشت گندم می‌کنند. پیامد کل وزارت نیرو از این ترکیب استراتژی $۱۰^{۱۱} \times ۱۶۴.۴۲$ ریال است که $۱۰^{۱۱} \times ۰.۲۰۲$ سود حاصل از فروش آب به بخش کشاورزی، $۱۰^{۱۱} \times ۰.۴۰۹$ سود حاصل از تأمین آب تالاب، $۱۰^{۱۱} \times ۱۶۹.۴$ سود حاصل از ارزش اقتصادی حجم آب باقی‌مانده پشت سد برای سایر مصارف و $۱۰^{۱۱} \times ۵.۵۹$ هزینه پرداخت خسارت نکاشت به کشاورزان است. پیامد کشاورزان نیز از این استراتژی $۱۰^{۱۱} \times ۱.۲۵$ ریال است. درصورتی‌که کشاورزان سیاست افزایش سطح زیر کشت را انتخاب کنند سود آن‌ها به $۱۰^{۱۱} \times ۰.۶۵$ کاهش می‌یابد در این ترکیب استراتژی سطح زیر کشت واقعی که در انتهای سال آبی و بر اساس میزان آب تخصیصی وزارت نیرو به زیر کشت می‌رود ۳۰۶۲۰ هکتار است درصورتی‌که مساحت زیر کشت تخمینی کشاورز در ابتدای سال آبی ۵۶۰۰ هکتار بوده است.

- حالت سوم: درصورتی‌که پروژه شیرین‌سازی و انتقال آب در فاز اول و دوم اجرا شود، ۱۶۰ میلیون مترمکعب آب به بیلان حوضه اضافه شود و وزارت نیرو سیاست احقاق حق‌آبه کشاورزی را در پیش بگیرد به‌طوری‌که ۶۰ درصد آب رها شده از سد زاینده‌رود به مصرف کشاورزی برسد و ۴۰ درصد مابقی صرف احیای تالاب شود وزارت نیرو سیاست ۶۰ درصد تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی را اتخاذ می‌کند. در این حالت وزارت نیرو اگر به جای استراتژی ۶۰ درصد استراتژی ۸۰ درصد تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی را اتخاذ کند، پیامد آن از $۱۰^{۱۱} \times ۱۷۰.۶$ ریال به $۱۰^{۱۱} \times ۱۶۶.۳۸$ ریال کاهش می‌یابد. لذا تصمیم بهینه‌ای گرفته است. در این سیاست، وزارت نیرو از کل ۱۵۰۰ میلیون مترمکعب ورودی آب به سد به میزان ۱۸۰ میلیون مترمکعب آب در مقایسه با سیاست ۸۰ درصد (۲۴۰) میلیون مترمکعب از سد رها می‌کند. از این میزان آب رها شده $۱۸۰ \times ۰.۶ = ۱۰۸$ میلیون مترمکعب را به کشاورزان اختصاص می‌دهد و ۷۲ میلیون مترمکعب را صرف احیای تالاب می‌کند. از سوی دیگر کشاورزان با مشاهده علامت R1 عمل A1 سیاست کاهش سطح زیر کشت را اتخاذ می‌کنند و به میزان ۲۰۷۰۰۰ هکتار اقدام به کاشت گندم می‌کنند. پیامد کل وزارت نیرو از این ترکیب استراتژی $۱۰^{۱۱} \times ۱۷۰.۶$ ریال است که $۱۰^{۱۱} \times ۰.۴۳$ سود حاصل از فروش آب به بخش کشاورزی، $۱۰^{۱۱} \times ۰.۳۸۶$ ریال سود حاصل از تأمین آب تالاب، $۱۰^{۱۱} \times ۱۷۳$ ریال سود حاصل از ارزش اقتصادی حجم آب باقی‌مانده پشت سد برای سایر مصارف و $۱۰^{۱۱} \times ۳.۲۳$ ریال هزینه پرداخت خسارت نکاشت به کشاورزان است. پیامد کشاورزان نیز از این استراتژی $۱۰^{۱۱} \times ۵.۷۶$ ریال است. درصورتی‌که کشاورزان سیاست افزایش سطح زیر کشت را انتخاب کنند سود آن‌ها به $۱۰^{۱۱} \times ۵.۱۶$ ریال کاهش می‌یابد در این ترکیب استراتژی سطح زیر کشت واقعی که در انتهای سال آبی و بر اساس میزان آب تخصیصی وزارت نیرو به زیر کشت می‌رود ۱۲۰۰۰ هکتار است درصورتی‌که مساحت زیر کشت تخمینی کشاورز در ابتدای سال آبی ۲۰۷۰۰۰ هکتار بوده است.

- حالت چهارم: درصورتی‌که پروژه شیرین‌سازی و انتقال آب در فاز اول و دوم اجرا شود، ۱۶۰ میلیون مترمکعب آب به بیلان حوضه اضافه شود و وزارت نیرو سیاست احقاق حق‌آبه تالاب را در پیش بگیرد به‌طوری‌که ۶۰ درصد آب رها شده از سد زاینده‌رود صرف احیای تالاب شود و ۴۰ درصد مابقی به مصرف کشاورزی برسد؛ وزارت نیرو سیاست ۶۰ درصد تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی را اتخاذ می‌کند. در این حالت وزارت نیرو اگر به جای استراتژی ۶۰ درصد استراتژی ۸۰ درصد تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی را اتخاذ کند، پیامد آن از $۱۰^{۱۱} \times ۱۶۹.۲$ ریال به $۱۰^{۱۱} \times ۱۶۴.۵۲$ ریال کاهش می‌یابد. لذا تصمیم بهینه‌ای گرفته است. در این سیاست، وزارت نیرو از کل ۱۵۰۰ میلیون مترمکعب ورودی آب به سد به میزان ۱۸۰ میلیون مترمکعب آب در مقایسه با سیاست ۸۰ درصد (۲۴۰) میلیون مترمکعب از سد رها می‌کند. از این میزان آب رها شده $۱۸۰ \times ۰.۶ = ۱۰۸$ میلیون مترمکعب را صرف احیای تالاب می‌کند و ۷۲ میلیون مترمکعب را به کشاورزان اختصاص می‌دهد. از سوی دیگر کشاورزان با مشاهده علامت R1 عمل A1 سیاست کاهش سطح زیر کشت را اتخاذ

می‌کنند و به میزان ۲۰۷۰۰۰ هکتار اقدام به کاشت گندم می‌کنند. پیامد کل وزارت نیرو از این ترکیب استراتژی ۱۶۹.۲×۱۰^{۱۱} ریال است که ۰.۲۸۸×۱۰^{۱۱} ریال سود حاصل از فروش آب به بخش کشاورزی، ۰.۶۱۶×۱۰^{۱۱} ریال سود حاصل از تأمین آب تالاب، ۱۷۳×۱۰^{۱۱} ریال سود حاصل از ارزش اقتصادی حجم آب باقی‌مانده پشت سد برای سایر مصارف و ۴.۶۹×۱۰^{۱۱} ریال هزینه پرداخت خسارت نکاشت به کشاورزان است. پیامد کشاورزان نیز از این استراتژی ۲.۹۴×۱۰^{۱۱} ریال است. درصورتی‌که کشاورزان سیاست افزایش سطح زیر کشت را انتخاب کنند سود آن‌ها به ۲.۳۴×۱۰^{۱۱} ریال کاهش می‌یابد در این ترکیب استراتژی سطح زیر کشت واقعی که در انتهای سال آبی و بر اساس میزان آب تخصیصی وزارت نیرو به زیر کشت می‌رود ۸۰۰۰ هکتار است درصورتی‌که مساحت زیر کشت تخمینی کشاورز در ابتدای سال آبی ۲۰۷۰۰۰ هکتار بوده است.

تعادل بیژین نش کامل بازی (R1R1R1R1, A1A1) تعادل یک‌کاسه R1 هست به این معنا که در این تعادل وزارت نیرو در هر حالتی که باشد، چه طرح شیرین‌سازی و انتقال آب از خلیج فارس در فاز اول اجرا شود و چه فاز اول و دوم آن اجرا شود و چه وزارت نیرو احیای تالاب یا احقاق حق‌آبه کشاورزان را در نظر داشته باشد علامت R1 را ارسال می‌کند و تنها به میزان ۶۰ درصد تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی برای کشاورزان از سد زاینده‌رود رها می‌کند. در این تعادل وزارت نیرو تمایل چندانی به احقاق حق‌آبه تالاب یا کشاورزان نداشته و در تمامی حالت‌ها تلاش کرده که بیشترین حجم آب را در پشت سد نگه دارد. این تعادل به‌این‌علت اتفاق می‌افتد که تابع مطلوبیت برای وزارت نیرو تنها به‌صورت اقتصادی تعریف شده است. سود اقتصادی که از فروش هر مترمکعب آب به بخش کشاورزی عاید وزارت نیرو می‌شود در مقایسه با فروش آب به بخش‌های دیگر ازجمله صنعت و شرب ناچیز است. به همین علت برای وزارت نیرو بهتر است که آب را پشت سد نگه دارد و به مصرف سایر نیازها برساند. از سوی دیگر خسارت نکاشتی که باید به کشاورزان پرداخت کند در بدترین حالت حدود یک‌دهم سودی است که از فروش آب به سایر بخش‌ها به دست می‌آورد. لذا این سیاست هم نمی‌تواند به‌عنوان ابزار سخت‌گیرانه برای وزارت نیرو باشد که در تخصیص آب و احقاق حق‌آبه کشاورزان عمل کند؛ بنابراین خسارت نکاشت ازلحاظ اقتصادی نمی‌تواند ابزار مفید و قدرتمندی باشد. از سوی دیگر تأمین حق‌آبه محیط‌زیست در کوتاه‌مدت ارزش اقتصادی چندانی برای وزارت نیرو ندارد و در این مدل تنها از دید اقتصادی به احیای تالاب پرداخته و فقط خسارت اقتصادی دیده شده است. لذا این گزینه نیز چندان در رویکرد مدیران وزارت نیرو اهمیت پیدا نمی‌کند؛ اما انتشار ریز گردها می‌تواند در درازمدت هزینه‌های سرسام‌آوری را مانند هزینه‌های پزشکی به جامعه و دولت وارد کند و همچنین موجب تهدید سلامت چرخه زیستی، اثرات فرا منطقه‌ای و مسائل حقوقی شود که قطعاً روی سیاست‌های کلان تأثیر خواهد داشت. این مسئله یکی از محدودیت‌های این تحقیق است که تنها از منظر اقتصادی به بررسی رفتار وزارت نیرو پرداخته است و جنبه‌های دیگر ازجمله اجتماعی وحقوقی در ادامه مطالعات دز نظر گرفته خواهد شد.

۵- نتیجه‌گیری

پس از انجام مطالعات مقدماتی و بررسی کلی شرایط حوضه زاینده‌رود با وجود اطلاعات نامتقارن بین وزارت نیرو و کشاورزان در مورد نحوه تخصیص میزان آورد طرح ملی شیرین‌سخنی و انتقال آب از خلیج‌فارس به صنایع استان اصفهان مناقشه آبی حوضه شناسایی شد و با بهره‌گیری از بازی علامت‌دهی که نوعی از بازی پویا با اطلاعات ناقص است مدل شد و سیاست‌های تخصیص منطبق بر تعادل بیژین کامل تعیین شد. تعادل بیژین کامل این بازی ترکیب استراتژی [R1, R1, R1, R1] با احتمال ۱ برای وزارت نیرو و استراتژی [A1, A1] و [A1, A2] با احتمال $\frac{۱}{۲}$ برای کشاورزان است. ترکیب استراتژی [R1, R1, R1, R1] به این معناست که وزارت نیرو در چهار حالت اجرای فاز اول و دوم و استراتژی پشت پرده اول و دوم پیغام ۶۰ درصد تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی را ارسال می‌کند. همچنین منظور از ترکیب استراتژی [A1, A2] برای کشاورزان به این معناست که در صورت دریافت علامت ۶۰ درصد تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی از سوی وزارت نیرو عمل کاهش سطح زیر کشت به میزان ۱۰ درصد و در صورت دریافت علامت ۸۰ درصد تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی عمل افزایش سطح زیر کشت به میزان ۱۰ درصد را اتخاذ کند. این تعادل یک تعادل یک‌کاسه است به این معنا که وزارت نیرو در هر حالتی که باشد سیاست ۶۰ درصد تأمین حق‌آبه گندم‌کاران از آب سطحی را اتخاذ کند و در ادامه کشاورزان هنگام دریافت این علامت سیاست کاهش سطح زیر کشت به میزان ۱۰ درصد را اتخاذ کنند. در صورت اتخاذ این تعادل توسط بازیکنان پیامد حاصل برای وزارت نیرو و کشاورزان به ترتیب ۱/۶۷۴E+۱۳ و ۳/۲۹۳E+۱۱ ریال خواهد بود. بر اساس نتایج عنوان شده با ادامه بینش صرفاً اقتصادی توسط وزارت نیرو و عدم توجه به پارامترهای اجتماعی، حقوقی و محیط زیستی حتی با اجرای طرح ملی شیرین‌سازی و انتقال

آب به حوضه بهبود قابل‌توجهی در شرایط کشاورزان و حق‌آبه تالاب گاوخونی صورت نخواهد گرفت.

پی‌نوشت‌ها

1- Perfect Bayesian Nash Equilibrium
2- Pooling
3- Tragedy of The Commons
4- Complete Information
5- Incomplete Information
6- Signaling Game
7- Lake Biwa
8- Static Game
9- Dynamic Game
10- Non-Cooperative
11- Cooperative
12- Rubinstein Sequential Bargaining Theory (RSBT)
13- Volta Basin
14- Issue Linkage
15- Stackelberg Game
16- Integrated Stochastic Dynamic Programming (ISDP)
17- Shapley Value
18- Harsanyi
19- Nucleolus
20- Fallback Bargaining
21- Kalai-Smorodinsky
22- Non-Quantitative
23- Bat Algorithm
24- Particle Swarm Algorithm
25- Proportional Method
26- The Volumetric Reliability Index
27- Strictly Inferior
28- Al-Tharthar
29- Tigris River
30- Sender
31- Signals
32- Receiver
33- Bay rules
34- Bayesian Nash Equilbrium
35- Strictly Dominated Strategy
36- Dominate Strategy
37- Mixed Strategy

۶- مراجع

Abdoli G (2012) Games theory and its applications (Incomplete Information, evolutionary and cooperative games). Tehran: Samt (In Persian)

Abed-Elmdoust A and Kerachian R (2012) River water quality management under incomplete information: Application of an N-person iterated signaling game. Environmental Monitoring and Assessment 184(10):5875–5888

Bhaduri A and Liebe J (2013) Cooperation in transboundary water sharing with issue linkage: Game-theoretical case study in the Volta Basin. Journal of Water Resources Planning and Management 139(3):235–245

Espínola-Arredondoa A and Muñoz-García F (2011) Can incomplete information lead to under-exploitation in the commons? Journal of Environmental Economics and Management 62(3):402–413

Gohari A, Eslamian S, Mirchi A, Abedi-koupaei J, and Massah A (2013) Water transfer as a solution to water shortage: A fix that can Backfire. Journal of Hydrology 491:23–39

Jafarzadegan K, Abed-Elmdoust A, and Kerachian R (2014) A stochastic model for optimal operation of inter-basin water allocation systems: A case study. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment 28(6):1343–1358

Jakob M and Lessmann K (2012) Signaling in international environmental agreements: The case of early and delayed action. International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics 12(4):309–325

Kicsiny R and Varga Z (2019) Differential game model with discretized solution for the use of limited water resources. Journal of Hydrology 569:637–646

Madani K (2010) Game theory and water resources. Journal of Hydrology 381(3–4):225–238

Mohajeri S (2011) Integrated water resources managemet in Zayandeh Rud. Inter 3 Co. Berlin, Germany

Mohammadpour M and Bagheri A (2017) Common pool water resources management considering a regulator interference: A game theory approach to derive managerial policies for Urmia lake, Iran. Lakes and Reservoirs: Research and Management 22(1):85–94

Nabavianpour M (2018) Zendeh Rud Seven Projects. Isfahan (In Persian)

Safavi HR, Mehrparvar M, and Szidarovszky F (2016) Conjunctive management of surface and ground water resources using conflict resolution approach. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 142(4):05016001

Safavi HR, Golmohammadi MH, and Sandoval-solis S (2015) Expert knowledge based modeling for integrated water resources planning and

Zadeh H, Ghaheri A, and Karp L (2009) A model of non-cooperative dynamic game to conflict resolution among common natural resource operators. Applied Sciences, Available at: http://www.docsdrive.com/pdfs/ansinet/jas/2009/2156-2161.pdf

Zanjanian H, Abdolabadi H, and Niksokhan MH, Sarang A (2018) Influential third party on water right conflict□: A game theory approach to achieve the desired equilibrium (Case study□: Ilam dam , Iran). Journal of Environmental Management. 214:283–294

Zarei A, Mousavi SF, Gordji ME, and Karami H (2019) Optimal reservoir operation using bat and particle swarm algorithm and game theory based on optimal water allocation among consumers. Water Resources Management 33(9):3071-3093

Zarezadeh M, Morid S, Fatemi F, and Madani K (2016) The strategic cooperation between Iran and Afghanistan in Helmand Basin to allocate more water to environment and control opium cultivation using game theory approach. Iran-Water Resources Research 12(3):12-21 (In Persian)

management in the Zayandehrud River Basin. Journal of Hydrology 528:773-789

Sakamoto M and Salewicz K (2018) Extensive-form game for examining mutual trust between a reservoir operator and agricultural water users. Journal of Water Resources Planning and Management 144(2):05017023

Salehi D, Goodarzi M, and Montaseri H (2019) Conflict resolution of water resources allocation in Zayandehrood Basin using game theory and WEAP model. JWSS 23(4):183–198 (In Persian)

Soltani M (2017) Ecological risk assessment of heavy metal pollution in surface sediments of Gavkhoni wetland delta. M.Sc. Thesis, Dept. of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran (In Persian)

Tavakoli-Nabavi SE (2011) Determination and assessment of sustainability criteria for Zayandeh-Rud River Basin. M.Sc. Thesis, Dept. of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran (In Persian)