



## Proposing an Optimal Strategy in Water Allocation Using Non-Cooperative Game Theory

M. Nourollahi<sup>1</sup>, A.N. Ziaei<sup>2\*</sup>, and K. Davary<sup>3</sup>

### Abstract

Deteriorated quality and scarcity of water are two serious problems and the water resources management corresponding to these problems is often accompanied by conflict between consumers. The purpose of this study is to analyze the behaviors and interactions of stakeholders in the Karaj basin in order to provide optimal strategy in sustainable policy-making of water resources in this basin with respect to environmental protection. In this study, definitions of stability were used to analyze the results of the Graph model in non-cooperative game theory. Players include the Ministry of Agriculture, the Regional Water Company, the Farmers and the Department of Environment. The results of the Graph model showed that among the definitions of stability used in this study, Non-Myopic stability analysis is reliable for the analysis of this game and the output of this stability is more likely to occur in the behavior of players. One of the most desirable equilibrium states is the basic situation and the other equilibrium state is the situation in which farmers perform unauthorized withdrawals of irrigation canals, in which case an undesirable situation will occur in the future. Therefore, the water resources management in the basin can be improved by determining incentives from the regional water company for the cooperation of farmers and their training, as well as identifying and punishing violators. Finally, the results showed that using appropriate stability definitions can provide valuable insights for policy-making to analyze specific conflict, when there is uncertainty about player behavior.

**Keywords:** Equilibrium States, Stability Definition, Graph Model, Water Resources Management, Non-Cooperative Game Theory.

Received: January 24, 2021

Accepted: May 8, 2021

## ارائه راهبرد مطلوب در تخصیص آب با کاربرد تئوری بازی‌های غیرهمکارانه

محمد نوراللهی<sup>۱</sup>، علی نقی ضیائی<sup>۲\*</sup> و کامران داوری<sup>۳</sup>

### چکیده

کاهش کیفیت آب و کمبود آن دو مشکل جدی است و مدیریت منابع آب مربوط به این مشکلات معمولاً با مناقشاتی همراه است. هدف از پژوهش حاضر، تحلیل رفتارها و تعاملات ذینفعان در حوضه کرج به منظور ارائه راهبرد مطلوب در سیاست‌گذاری پایدار منابع آب با در نظر گرفتن حفظ محیط‌زیست است. در این پژوهش، از تعاریف پایداری برای تحلیل نتایج حاصل از مدل گراف در نظریه بازی‌های غیرهمکارانه استفاده شد. بازیکنان شامل سازمان جهاد کشاورزی، شرکت آب منطقه‌ای، کشاورزان و سازمان محیط‌زیست می‌باشند. نتایج حاصل از مدل گراف نشان داد که از بین تعاریف پایداری مورد استفاده در این پژوهش، تحلیل پایداری Non myopic برای تحلیل این بازی قابل اطمینان بوده و خروجی این پایداری، احتمال بیشتری در رخداد رفتار بازیکنان دارد. یکی از مطلوبترین نقاط تعادل، وضعیت پایه و نقطه تعادل دیگر وضعیتی است که کشاورزان برداشت غیر مجاز از کانال‌های آبیاری انجام می‌دهند که باعث وضعیت نامناسبی در آینده خواهد شد. لذا می‌توان با تعیین تشویق‌هایی از سوی شرکت آب منطقه‌ای به منظور همکاری کشاورزان و آموزش آن‌ها و نیز شناسایی و تنبیه متخلفان، مدیریت منابع آب را بهبود بخشید. در نهایت، نتایج نشان داد بکار بردن تعاریف پایداری مناسب، زمانیکه عدم اطمینان در مورد رفتار بازیکنان وجود داشته باشد، برای تجزیه و تحلیل مناقشه‌ای خاص، می‌تواند بینش ارزشمندی برای سیاست‌گذاری ایجاد نماید.

**کلمات کلیدی:** نقاط تعادل، تعاریف پایداری، مدل گراف، مدیریت منابع آب، نظریه بازی‌های غیرهمکارانه.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۱۱/۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۲/۱۸

1- Ph.D. Candidate in Water Structure Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. Email: Mohammad.nour.um@gmail.com

2- Associate Professor, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. Email: an\_ziaei@yahoo.com

3- Professor, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. Email: k.davary@um.ac.ir

\*- Corresponding Author

Dor: [20.1001.1.17352347.1400.17.1.10.1](https://doi.org/10.17352/347.1400.17.1.10.1)

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.

۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.

\*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۴۰۰ امکان‌پذیر است.

یعنی دو یا سه بازیکن قابل استفاده بود (Straškraba and Gnauck, 1985). نظریه بازی، از دهه ۱۹۸۰ پیشرفت بزرگی در مدیریت منابع آب داشته است. نظریه بازی، در ابتدا در توزیع هزینه در پروژه‌های مشترک منابع آب استفاده شد (Heany and Dickinson, 1982; Lejano and Davos, 1995). پس از آن، مطالعات زیادی بر روی کاربرد نظریه بازی در مناقشات آب انجام شد. ماهیت این روش‌ها شبیه‌سازی رفتارهای بازیگران مختلف با استفاده از بازی‌های غیرهمکارانه و همکارانه است که در آن ارزش‌های اضافه شده حاصل از این همکاری‌ها به بازیگران مختلف بر اساس علایق آن‌ها به طور منصفانه تخصیص داده می‌شود (Tisdell and Harrison, 1992; Becker and Easter, 1995; Bielsa and Rosa, 2001). Madani and Hipel (2007) به ارائه دیدگاه‌هایی در مورد مناقشات بین اسرائیل و کشورهای عربی در سراسر رود اردن و تعیین احتمال‌ترین نتیجه مناقشه با استفاده از بازی‌های غیرهمکارانه به روش مدل گراف پرداختند. هدف اصلی آن‌ها، نشان دادن چگونگی استفاده از مدل گراف برای درگیری‌های اجتماعی است. آن‌ها ادعا کردند که می‌توان بازی را به چند زیرمجموعه تقسیم کرد. مدل ارائه شده توسط آن‌ها، تعادل بازی را پیدا کرده و اثتلاف‌های احتمالی طرف‌های درگیری را پیشنهاد می‌کند. Sheikhmohammady and Madani (2008) به شناسایی نتیجه محتمل درگیری برای میزان تخصیص از دریای خزر و پیشنهاد برخی از تخصیص‌های احتمالی با استفاده از روش‌های چانه‌زنی پرداختند. آن‌ها نتایج روش‌های استفاده شده را مقایسه نمودند و مزایا و معایب هر روش را بیان کردند. Niksokhan et al. (2009) مجوز تخلیه بار آلودگی را با کاربرد نظریه بازی‌ها، مورد بررسی قرار داده و از روشهای شاپلی و نوکلئوس برای توزیع مجدد هزینه‌های تصفیه بهره بردند. Madani and Hipel (2011) به بررسی ۶ تعریف پایداری مختلف که برای مسائل منابع آبی غیرهمکارانه با راهبرد محدود می‌باشد، پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که در زمینه مناقشات آبی، نتایج خروجی از پایداری نش نسبت به سایر تعاریف پایداری، دور از واقعیت است و پایداری Non myopic نسبت به سایر تعاریف پایداری، وضعیت خوشبینانه‌ای را در نظر می‌گیرد. به عبارت دیگر، پایداری نش به این معناست که بازیکنان هیچ تغییر رفتاری در طول بازی انجام ندهند، در صورتی که در مناقشات آبی، امکان تغییر رفتار بازیکنان در طول بازی وجود دارد. Noori et al. (2020) به تحلیل تعامل بخش کشاورزی و صنعت در تخصیص آب با رویکرد بازی‌های غیرهمکارانه پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که کاربرد مفاهیم پایداری می‌تواند کارایی مدل‌های مناقشات منابع آب را بهبود بخشد. آنها ابتدا دو بازی مجزا به فرم بازی تعارض زندانی، برای دو بازیکن بخش‌های صنعت و کشاورزی تشکیل دادند. سپس دو بازی مجزا را ترکیب نموده و در نهایت با استفاده از تعریف

منابع آب از نظر اقتصادی، دارایی‌های مهمی هستند که باعث ایجاد فعالیت‌های تولیدی می‌شوند. با این حال، کاهش کیفیت و کمیت آب، دو مشکل جدی در کشورهای در حال توسعه است. به دلیل توزیع ناهمگن بارش از نظر زمانی و مکانی (Al Radif, 1999)، افزایش مصرف آب با افزایش نرخ رشد جمعیت، کاهش کیفیت آب (UN-CSD, 1994)، از دست دادن منابع بالقوه آب شیرین ناشی از اقدامات ناپایدار مدیریت منابع آب (Wang, 2005) و همچنین افزایش دما (Westmacott and Burn, 1997) کمبود آب در کشورها افزایش یافته است. پیش‌بینی شده در سال ۲۰۲۵، برای ۵ میلیارد نفر از ۷/۹ میلیارد نفر در جهان، تأمین نیاز اساسی آب برای آشامیدن، آشپزی و بهداشت دشوار یا حتی غیرممکن باشد (Leete et al., 2003; Wei and Gnauck, 2007). مدیریت منابع آب معمولاً شامل چند ذینفع با منافع متناقض یا متعارض با اهداف و استراتژی‌های مختلف می‌باشد (Wang et al., 2003; Fang et al., 1998; Hipel et al., 1997; van der Veeren and Tol, 2003; Wei and Gnauck, 2007). به طور کلی، وظیفه اصلی مدیریت منابع آب، ترویج استفاده هماهنگ از آب به منظور به حداکثر رساندن خدمات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در رفتارهای عادلانه، کارآمد و پایدار است (Wang, 2005).

نظریه بازی‌ها توسط Von Neumann and Morgenstern (1944)، در سال ۱۹۴۴ ارائه شد. مفاهیم و استدلال‌های مدل‌سازی نظریه بازی‌ها به طور گسترده‌ای در علوم اقتصادی، تجاری، اجتماعی، سیاسی، بیولوژیکی و بسیاری از علوم دیگر به کار رفته است تا به مردم در تحلیل و درک پدیده‌های اجتماعی و رفتاری کمک کند. منابع آب مشترک (Ostrom et al., 1994) به طور عمده با معضل بهره‌برداری بیش از حد همراه است. نظریه بازی، برای تحلیل مدیریت منابع مشترک استفاده شده است (Berkes, 1989; Blaikie and Brookfield, 1987; Blomquist, 1992).

تحقیقات بیشتر در برخی از نشریات علمی در مورد مدل‌های نظریه بازی، برای مدیریت محیط‌زیست و منابع طبیعی، منتشر شده‌اند. Carraro and Filar (1995) از مدل‌های نظریه بازی و حفظ محیط‌زیست، برای توصیف روابط بین ذینفعان، استفاده نمودند. Lewandowski (1979) از یک روش نظریه بازی، برای مدل‌سازی رفتار استفاده‌کنندگان از آب در یک مسأله کنترل کیفیت استفاده کرد و یک راه حل نظریه بازی را برای کاربردهای مختلف سیستم آب ارائه داد. در ابتدا، راه حل عملی مدل‌های نظریه بازی، فقط برای موارد ساده

پایداری به تحلیل ۱۶ حالت بوجود آمده برای دو بخش کشاورزی و صنعت پرداختند.

موفقیت سایر رهنمودها و اقدامات سیاست‌گذاری برای حل بحران را با ابهام و چالش رو به رو می‌کند.

مرور منابع انجام شده نشان داد که به منظور حل مناقشات منابع آب در یک حوضه مشخص، ابتدا باید ذینفعان، اهداف و اولویت‌های آنان تعریف شوند. با توجه به اینکه در هر حوضه، ذینفعان و اهداف آن‌ها متفاوت هستند، در نتیجه می‌بایست بازی، به طور خاص برای آن‌ها شکل گیرد و نمی‌توان از خروجی نتایج دیگر مناطق استفاده کرد. در حال حاضر، افزایش برداشت آب با هدف توسعه اقتصادی، سبب تخریب محیط‌زیست در حوضه آبریز کرج و بروز بحران شده است. طبق مذاکرات صورت گرفته با کارشناسان مربوطه، ریشه اصلی بحران، ترجیح منفعت شخصی کوتاه‌مدت بر منافع بلندمدت محیط‌زیستی و اقتصادی-اجتماعی و غفلت از پیامدهای جانبی است. به طوری که هم اکنون، اصرار همه ذینفعان به افزایش برداشت از منابع آبی، دستیابی به راه‌حل همکاری را دشوار کرده است.

در این پژوهش، تمرکز بر کاربرد تعاریف مختلف پایداری در نظریه بازی‌های غیرهمکارانه به منظور کاهش تعارضات و افزایش مطلوبیت بین چهار بازیکن شرکت آب منطقه‌ای استان تهران (نماینده وزارت نیرو)، سازمان جهاد کشاورزی شهرستان کرج، کشاورزان (بیشترین مصرف‌کننده آب) و سازمان محیط‌زیست (متولی و حافظ اصلی محیط‌زیست) در حوضه آبریز کرج است و نتایج حاصل از بازی غیرهمکارانه با استفاده از تعاریف پایداری مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. پیش‌بینی رفتار و تحلیل تعامل این چهار بازیکن با استفاده از مدل گراف در قالب بازی‌های غیرهمکارانه به منظور دستیابی به راهبردی مطلوب از نوآوری‌های این پژوهش می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه ( معرفی حوضه و شبکه آبیاری)

سد امیرکبیر در فلات مرکزی ایران بر روی رودخانه کرج با حوضه آبریزی به مساحت ۷۶۴ کیلومتر مربع و با متوسط جریان آب سالانه به میزان ۴۷۲ میلیون مترمکعب در فاصله ۶۳ کیلومتری شمال غربی تهران قرار دارد. از جمله اهداف ساخت سد امیرکبیر، کنترل سیلاب‌های بهاره و جلوگیری از خسارت‌های ناشی از سیل، تأمین آب شرب شهر تهران و کرج و تنظیم آب برای مصارف آبیاری و کشاورزی اراضی حومه کرج به مساحت ۲۳۰۰۰ هکتار می‌باشد. در شکل ۱، نمای کلی از منطقه مورد مطالعه و مسیر انتقال آب نشان داده شده است.

در نیم قرن اخیر، تغییر رویکرد مدیریتی از مشارکتی به دولتی، سبب عدم توازن در مدیریت منابع آب شده است که کوچکترین اثر آن بروز چالش‌ها و منازعات آبی در کشور و حوضه‌های آبریز می‌باشد. این تنش‌ها کم و بیش در سایر حوضه‌های آبریز کشور از جمله حوضه آبریز کرج نیز مشهود است که دچار چالش در مدیریت منابع آب می‌باشد. احداث سدهای متعدد و گسترش شهرها و در نتیجه افزایش چشمگیر نیاز آبی آنها، باعث کاهش تخصیص آب به کشاورزان و باغداران شده و بخش مصرف‌کننده در پایین‌دست سد امیرکبیر، دچار تنش‌های اجتماعی به ویژه در سال‌های کم آبی شده است. مشکلات اصلی مدیریت آب سد کرج، تغییرات مصرف شرب و کشاورزی، جریان رودخانه و بارندگی‌ها و اهداف متضاد در تخصیص آب در این حوضه می‌باشد. افزون بر آن، بخش عمده‌ای از آب شرب شهرهای تهران و کرج از این سد تأمین می‌شود که از نظر سیاسی دارای اهمیت است و این موضوع امکان یافتن پاسخ بهینه و تخصیص مناسب آب بین ذینفعان را با مشکل روبه‌رو کرده و لزوم تحلیل تمایلات و تعاملات تصمیم‌گیرندگان مناقشه، که ممکن است موجب بروز رفتارهای غیرهمکارانه و بهره‌برداری بیش از اندازه از منابع آبی مشترک و محدود حوضه آبریز کرج شود، در نظر گرفته نشده است. بی‌توجهی به این امر، موجب شده است که مطالعات صورت گرفته و پیشنهادهای سیاست‌گذاری ارائه شده، فاقد دیدگاه کل نگر و راهبردی به مناقشه آبی باشد. بنابراین، با توجه به رفتار ذینفعان در بهره‌برداری از منابع مشترک، ضرورت چنین مطالعه‌ای پیش از ارائه و اجرای هرگونه اقدام سیاست‌گذارانه، کاملاً آشکار است. لذا، عدم تحلیل رفتار ذینفعان،

### ۲-۲- معرفی نظریه بازی‌ها و انواع آن

نظریه بازی‌ها در حال تبدیل شدن به یک رویکرد ضروری برای تجزیه و تحلیل، درک و حل بسیاری از مشکلات آب در دنیای امروز است. نظریه بازی‌ها، یک مجموعه ابزار تحلیلی بر پایه ریاضی است، که تلاش می‌کند تا رفتار حاکم بر یک موقعیت راهبردی را در وضعیت‌های مختلف بازیکنان، مدل‌سازی کند. هدف نهایی نظریه بازی‌ها، یافتن راهبرد مطلوب برای بازیکنان و در نتیجه حل مناقشات است (Madani and Hipel, 2007).

بازی، استعاره‌ای از رفتارهای منطقی چند بازیگر در یک موقعیت متقابل یا وابسته، مانند همکاری یا ائتلاف، درگیری، رقابت، همزیستی و غیره است (Wei and Gnauck, 2007). یک بازیگر ممکن است یک کشور، یک منطقه، یک گروه، یک فرد و یا حتی محیط‌زیست باشد.

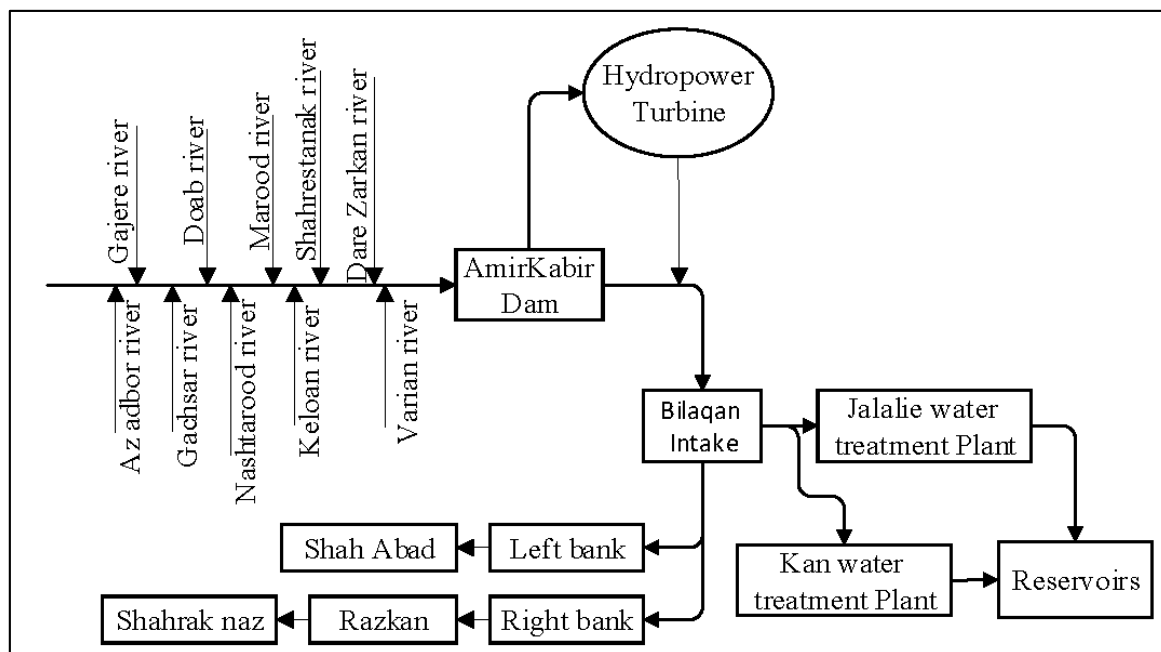


Fig. 1- Schematic of the study area and water transfer route

شکل ۱- نمای از منطقه مورد مطالعه و مسیر انتقال آب

### ۲-۳- مدل گراف (GMCR)<sup>۱</sup>

بر اساس مرور منابع و پژوهش‌های صورت گرفته، در تحلیل مناقشات آبی و زیست‌محیطی، مدل‌های غیرهمکارانه به ویژه مدل گراف، نسبت به مدل‌های همکارانه، برتری دارند، چرا که مدل‌های همکارانه برای حل چنین مسائلی انعطاف پذیر نبوده و نیازمند همکاری و توافقی از سوی تصمیم‌گیرندگان (بازیکنان) می‌باشد که در عمل دشوار است (Kilgour and Hipel, 2005).

تعاریف پایداری غیرهمکارانه در بازی‌های منابع آب تنها توسط تعداد محدودی از افراد که از مدل گراف برای حل تعارض (GMCR) استفاده کرده اند، بکار رفته است (Fang et al. 1993; Okada et al., 1999; Hipel et al., 2003; Noakes et al., 2003; Li et al., 2004; Gopalakrishnan et al., 2005; Ma et al., 2005; Vieira Nandalal and Hipel, 2007; Elimam et al., 2008; Getirana et al., 2008; Hipel et al., 2008a; and). مدل گراف برای حل مناقشات، دارای چندین مزیت مشخص می‌باشد. به عبارتی، مدل گراف می‌تواند تعداد محدودی از تصمیم‌گیرندگان را کنترل نماید، که هر یک از آنها نیز تعداد محدودی از اقدامات را کنترل می‌کنند. مدل گراف می‌تواند حرکات برگشت‌پذیر و برگشت‌ناپذیر را توصیف و مشخص کند. مدل گراف چارچوبی تشکیل می‌دهد که می‌توان با استفاده از آن، مفاهیم حل برای توصیف رفتار انسان را تعریف، ارزیابی و مقایسه نمود (Fang et al., 1993).

ماهیت این نظریه، تجزیه و تحلیل تعامل یک بازیگر با دیگران، بررسی راهبردها و تعادل بازی و همچنین چگونگی عملکرد بهتر آن‌ها است. روش‌های مختلفی برای طبقه‌بندی این نظریه وجود دارد. از جمله دسته‌بندی‌ها عبارتند از: همکارانه یا غیرهمکارانه، تعداد بازیکنان (بازی دو نفره یا بازی چند نفره)، ترتیب حرکات (بازی‌های ایستا یا پویا)، مجموعه حرکات (بازی‌های متناهی یا نامحدود)، مجموع بازده (بازی‌های جمع صفر یا غیر صفر) و بازی‌های با اطلاعات کامل یا بازی‌های با اطلاعات ناقص.

در صورتی که هر بازیکن یا تصمیم‌گیرنده به‌طور کاملاً یک‌طرفه و با در نظر گرفتن اهداف و شرایط مطلوب خویش تصمیم‌گیری کند، بازی به‌صورت غیرهمکارانه مطرح می‌شود. بازی‌های غیرهمکارانه می‌توانند از نوع بازی‌های با اطلاعات کامل و یا با اطلاعات ناقص باشند. در صورتی که از نوع بازی‌های با اطلاعات کامل باشند، به این معناست که تمامی اطلاعات درباره بازیکنان و ترجیحات آن‌ها و همچنین روابط بین آن‌ها به‌طور کامل شناخته شده و قابل تعریف در فضای یک بازی می‌باشد. از طرفی، اگر بازیکنان با اتحادی یکپارچه به‌منظور برقراری شرایط مطلوب برای کل سیستم تصمیم‌گیری کنند، این بازی به صورت همکارانه مطرح می‌شود. نظریه بازی‌های غیرهمکارانه یک راهبرد است و آنچه که انتظار می‌رود بازیکنان انجام دهند و نحوه انجام آن بازی را بررسی می‌کند.

بود که ناشی از بی اعتمادی به ریسک‌پذیری و بینش کوتاه است (Madani and Hipel, 2011). یک مناقشه در مدل گراف به صورت حرکت از یک وضعیت به وضعیت دیگر توسط بازیکنان شکل می‌گیرد که در نهایت مجموعه‌ای از وضعیت‌ها به شکل ماتریسی، بوجود خواهد آمد.

#### ۲-۴- تعاریف پایداری‌ها

تعاریف پایداری غیرهمکارانه، پیش‌بینی نتیجه‌های محتمل بازی‌های غیر همکارانه را آسان‌تر می‌نماید. در واقعیت، رفتار همکارانه، به دلیل علائق و اهداف متعارض بازیکنان، تمایل بازیکن برای بهینه نمودن هدف خود و نیز عدم اعتماد در میان گروه‌ها ممکن است وجود نداشته باشد (Madani, 2010). بنا به دلایل مذکور، تمامی مناقشات در منابع آبی لزوماً از نوع بازی‌های همکارانه نخواهند بود. مفاهیم مختلف تعاریف پایداری برای انعکاس بهتر واقعیت روند تصمیم‌گیری تعاملی در بازی‌های غیرهمکارانه در زمینه منابع آب معرفی شده است.

در این تحقیق، به منظور بررسی تعاریف پایداری و تحلیل آنها از نسخه سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری GMCR plus، منتشر شده در سال 2014 توسط Rami A. Kinsara, Oskar Petersons, Keith W. Hipel, D. Marc Kilgour استفاده شده است. مدل گراف که در دسته مدل‌های بازی غیرهمکارانه و با اطلاعات کامل قرار می‌گیرد، توسط Fang et al. (1998) برای تحلیل مناقشه، ارائه شده است. یک مدل گراف از سه جزء اصلی تشکیل شده است: ۱- بازیکنان؛ ۲- مجموعه انتخاب‌ها برای هر بازیکن و اولویت‌های هر یک از بازیکنان نسبت به هر یک از وضعیت‌ها و ۳- نتایج ممکن بازی که در آن بازیکنان قادرند با تغییر راهبردهایشان در فرآیند تکامل بازی در آن‌ها سهم باشند. شکل ۲ گام‌های اصلی در استفاده از مدل گراف در حل یک مناقشه در دنیای واقعی را نشان می‌دهد.

در مدل گراف، اگر بازیکنان فقط به سود خود فکر کنند، بازی غیرهمکارانه خواهد بود. از دیدگاه راهبردی، در بازی غیرهمکارانه، رفتار بازیکنان بر اساس عقلانیت فردی به جای عقلانیت جمعی خواهد

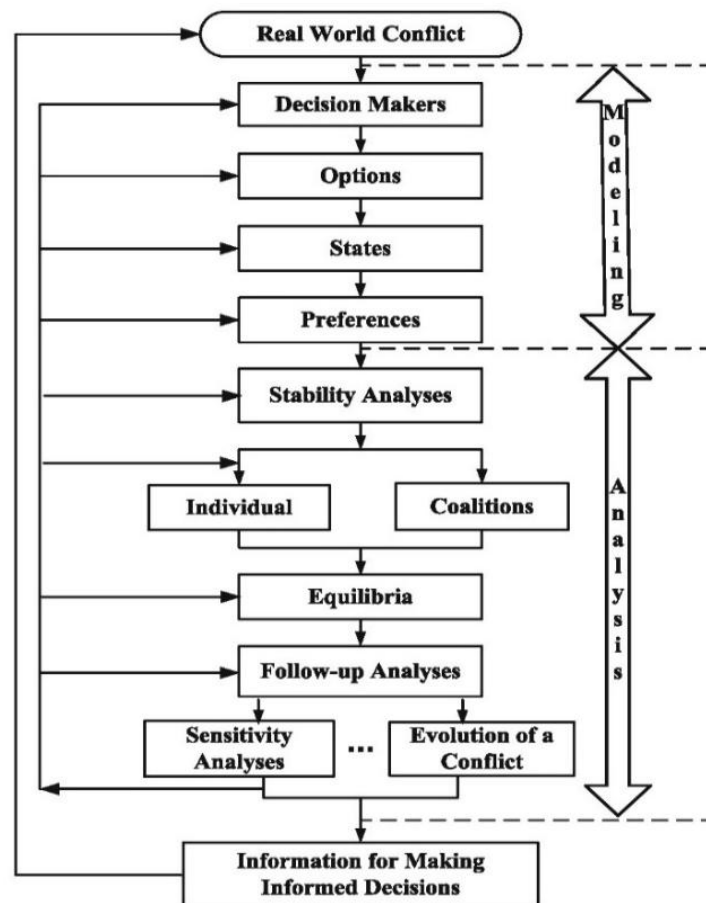


Fig. 2- Main steps for applying GMCR to a specific conflict  
 شکل ۲- گام‌های اصلی در استفاده از مدل گراف در حل یک مناقشه (Xu et al., 2018)

در این پژوهش، از شش تعریف پایداری شامل Nash،  $GMR^2$ ،  $SMR^3$ ،  $SEQ^4$  و Limited Move و Non myopic، استفاده شده است.

پایداری نش: برای بازیکن  $i$  حالت  $s$  پایداری نش است، اگر و تنها اگر هیچ حرکت بهبود دهنده یک جانبه‌ای برای بازیکن  $i$  موجود نباشد (مجموعه تصمیم‌گیری‌های  $i$  برای بهبود وضعیت از حالت  $s$  تهی باشد)  $(R_i^+(s) = \emptyset)$ . به عبارت دیگر، اگر تصمیم‌گیرنده  $i$  با توجه به تصمیمات رقبا، با تغییر تصمیم خود نتواند بهتر عمل کند، هیچ انگیزه‌ای برای حرکت از حالت  $s$  نخواهد داشت. اگر حالت  $s$  پایداری نش برای همه‌ی تصمیم‌گیرندگان باشد (هیچ تصمیم‌گیرنده‌ای وجود نداشته باشد که بتواند با تغییر تصمیم خود با توجه به تصمیمات رقبا، بهتر عمل کند)،  $s$  تعادل نش می‌باشد (Nash, 1951).

$GMR$ : برای تصمیم‌گیرنده  $i$  حالت  $s$  پایداری  $GMR$  است اگر و تنها اگر هر حرکت بهبود دهنده بازیکن  $i$  از حالت  $s$  به حالت بهتر یا بدتر توسط حرکت بازیکن  $j$  محدود شود. در پاسخ به حرکت بازیکن  $i$  از حالت  $s$  به حالت  $x$ ، بازیکن  $j$  ممکن است با حرکت به حالت  $z$  با سود کمتر برای هر دو بازیکن جهت تحریم حرکت بهبود دهنده بازیکن  $i$  به خود صدمه بزند. بنابراین، سود حالت  $z$  ممکن است کمتر یا بیشتر از حالت  $x$  برای بازیکن  $j$  باشد اما قطعاً برای بازیکن  $i$  کمتر خواهد بود. در این شرایط بازیکن  $i$  ترجیح می‌دهد از حالت  $s$  حرکت نکند. بنابراین،  $s$  پایداری  $GMR$  برای بازیکن  $i$  است. اگر حالت مذکور پایداری  $GMR$  برای همه بازیکنان بازی باشد، این حالت تعادل  $GMR$  خواهد بود. تعریف پایداری  $GMR$ ، رفتار یک بازیکن بسیار محافظه‌کار را شبیه‌سازی می‌کند. چنین بازیکنی از هر گونه خطر در تصمیم‌گیری اجتناب می‌نماید. تعریف پایداری  $GMR$  فقط برای بازی‌هایی با حداقل دو حرکت برای هر بازیکن کاربرد دارد، زیرا در بازی‌های یک حرکت هیچ واکنشی برای پاسخ امکان‌پذیر نمی‌باشد. مفهوم پایداری نش برای بازی‌های یک حرکت مناسب است. کاربرد تعاریف پایداری نش در بازی‌های دنیای واقعی که یک حرکت نیستند در پیش‌بینی نتایج عملاً معتبر نیستند. بازیکن در تعریف پایداری  $GMR$  دارای افق دو حرکت است درحالی‌که بازیکن در تعریف پایداری نش تنها یک حرکت پیش رو دارد (Madani and Hipel, 2011).

$SMR$ : برای بازیکن  $i$  حالت  $s$  پایداری  $SMR$  است اگر و تنها اگر نه تنها هر حرکت بهبود دهنده یک جانبه بازیکن  $i$  از  $s$  به  $x$  توسط حرکت بازیکن  $j$  از  $x$  به  $z$  تحریم شده، بلکه هیچ حرکت یک جانبه‌ای برای بازیکن  $i$  از  $z$  به  $y$  که سود بازیکن  $i$  در  $y$  بیشتر از سود آن در  $s$  باشد، قابل دسترس نیست. حالت  $s$  همچنین پایداری  $SMR$  است اگر بازیکن

$i$  هیچ حرکت بهبوددهنده یک جانبه‌ای از حالت  $s$  نداشته باشد. بنابراین تعادل نش یک تعادل  $SMR$  نیز می‌باشد.  $SMR$  تعریف پایداری محدودتری نسبت به  $GMR$  است و از این رو یک زیر مجموعه از  $GMR$  می‌باشد.  $SMR$  شبیه به  $GMR$  است به جز در این مورد که بازیکن  $i$  نه تنها حرکات ممکن خود و واکنش‌های ممکن بازیکن  $j$  به حرکات خودش را در نظر می‌گیرد، بلکه شانس‌های خود برای پاسخ به واکنش‌های بازیکن  $j$  را نیز در نظر دارد. در تعریف پایداری  $SMR$ ، بازیکن دارای افق سه حرکت است و پیش‌بینی می‌کند که این درگیری پس از پاسخ به حرکت بازیکن مقابل خودش به پایان می‌رسد. یک بازیکن  $SMR$  بسیار محافظه‌کار است و پیش‌بینی بیشتری نسبت به بازیکن در تعریف پایداری  $GMR$  دارد. این بازیکن فرض می‌کند که در پاسخ به تصمیماتش، مخالفان حتی ممکن است برای جلوگیری از حرکت او به خود صدمه بزنند. مشابه  $GMR$ ،  $SMR$  نیز برای بازی‌های با بیش از یک حرکت مناسب است (Madani and Hipel, 2011).

$SEQ$ : یک زیرمجموعه از  $GMR$  است که در آن بازیکن  $j$  فقط می‌تواند به حرکت بهبود دهنده یک جانبه بازیکن  $i$  با یک اقدام معتبر پاسخ دهد. یعنی حالت  $s$  یک  $SEQ$  است برای بازیکن  $i$  اگر و تنها اگر هیچ حالت بهتری از  $s$  برای بازیکن  $i$  قابل دسترس نباشد. بازیکن  $SEQ$  دارای پیش‌بینی متوسط است (افق دو حرکت) و به اندازه‌ی بازیکنان  $SMR$  و  $GMR$  محافظه‌کار نیست و با فرض اینکه بازیکن حریف هرگز مایل به صدمه زدن به خود برای تحریم کردن حرکت بهبود دهنده یک جانبه او نیست، برخی خطرات را انجام می‌دهد. این نوع رفتار اغلب در دنیای واقعی مناقشات مشاهده می‌شود (Madani and Hipel, 2011).

Limited-Move: بر اساس مفهوم پایداری حرکت محدود، بازیکن  $i$  می‌تواند یک توالی از عمل‌ها و عکس‌العمل‌ها را برای تعداد  $h$  حرکت تصور کند. برای دانستن اینکه حالت  $s$  در این تعریف برای بازیکن  $i$  پایدار است، توالی حرکت‌ها با استفاده از فرم بازی بسط‌یافته و روش استقرای معکوس برای تعیین پایداری بکار برده می‌شود (Madani and Hipel, 2011). فرض می‌شود که همه بازیکنان عقلایی بوده و حرکات بهینه انجام می‌دهند (بازیکنان تنها در صورتی حرکت یک جانبه انجام می‌دهند که مطمئن باشند در نهایت پیامد بهتری برای آن‌ها حاصل می‌گردد).

Non-Myopic: پایداری Non-Myopic یک مورد خاص از پایداری Limited-Move است که در آن افق حرکت بدون محدودیت افزایش می‌یابد. بازیکن Non-Myopic دارای بینش وسیعی است و می‌تواند

در مورد تمام حرکات ممکن و عکس‌العمل‌ها در آینده فکر کند (Madani and Hipel, 2011).

جدول ۱ تعاریف پایداری معرفی شده و نیز رفتار بازیکنان را نشان می‌دهد. توصیف پایداری، تعداد حرکت و اطلاع از ترجیحات بازیکنان در این جدول آمده است.

مفهوم تعادل یا پایداری در نظریه‌ی بازی‌ها، حالت و یا نقطه‌ای از بازی است که بازیکن در تصمیم‌گیری خود در حالت موجود تغییری ایجاد نمی‌کند. به عبارت دیگر، وضعیت فعلی بازی به گونه‌ای است که بازیکن هیچ انگیزه‌ای برای تغییر رفتار خود ندارد، زیرا حالتی بهتر (با سود بیشتر) را نمی‌تواند برای خود ایجاد کند. در صورتی که تمام بازیکنان یک وضعیت از حالت‌های ممکن بازی را به‌عنوان نقطه تعادل در نظر بگیرند، تمایلی به تغییر تصمیمات اتخاذ شده ندارند. بنابراین آن وضعیت پایدار بوده و یک حل ممکن برای مناقشه است.

## ۲-۵- روش انجام پژوهش

برای مدل‌سازی مناقشه، تاریخچه آن مورد نیاز است تا به این شیوه، مهمترین بازیکنان بازی، گزینه‌ها و راهبردهای عمده هر یک و اولویت هر کدام از بازیکنان تعیین شود. در منطقه مورد مطالعه، با توجه به قدرت تصمیم‌گیری و اجرایی، چهار بازیکن شامل شرکت آب منطقه‌ای استان تهران (نماینده وزارت نیرو)، سازمان جهاد کشاورزی شهرستان کرج، کشاورزان (بیشترین مصرف کننده آب) و سازمان محیط‌زیست (متولی و حافظ اصلی محیط‌زیست) حضور دارند. برای دستیابی به

داده‌ها و اطلاعات جهت مدلسازی، نیاز به اخذ اطلاعات موجود و مطالعه گزارش‌های مرتبط بوده، که در مواردی نیز مصاحبه‌هایی با کارشناسان و مسئولان ذیربط از جمله کارشناسان مطالعات پایه منابع آب شرکت آب منطقه‌ای و نیز مدیریت بهره‌برداری سدهای استان تهران، کارشناسان شبکه توزیع و آبرسانی آب منطقه‌ای، اساتید دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران، کارشناسان سازمان جهاد کشاورزی کرج، مسئولین توزیع آب در شبکه و نیز کشاورزان صورت گرفت و اطلاعات گردآوری شده برای مدلسازی مناقشه‌ی مذکور استفاده شد. جامعه آماری مسئولین ذیربطی بودند که در ارتباط با مسائل شبکه آبیاری از آگاهی و تجربه کافی برخوردار بوده و با مناقشه مورد نظر آشنایی کامل داشتند. در ادامه، مدل مناقشه ایجاد و از نظریه بازی‌ها، استفاده گردید. در نهایت مراحل مدلسازی و تحلیل مناقشه، مطابق فرآیند مدل گراف برای حل مناقشه انجام شد.

در این پژوهش، مراحل مختلف انجام کار به ترتیب به شرح ذیل می‌باشد:

- ۱) تعیین بازیکنان، راهبردها و اولویت هر یک از آن‌ها؛
- ۲) ترکیب راهبرد بازیکنان و تعیین پیامدهای محتمل بازی؛
- ۳) تعیین نقاط تعادل بازی و مقایسه آن‌ها

جدول ۲ بازیکنان، گزینه‌ها و وضعیت‌های پایه (مطلوب  $Y$ ، نامطلوب  $N$ ) آن‌ها را با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده از منطقه مورد مطالعه در این پژوهش نشان می‌دهد.

**Table 1- Stability definitions and description**  
جدول ۱- تعاریف پایداری و توصیف آن‌ها

Solution concept	Stability description	Characteristics	
		Number of moves	Knowledge of preferences
Nash	Decision maker cannot unilaterally move to a more preferred state	1 move	Own
GMR	All unilateral improvements are blocked by subsequent unilateral moves by others	2 moves	Own
SMR	All unilateral improvements are still blocked even after possible responses by the original player	3 moves	Own
SEQ	All unilateral improvements are blocked by subsequent unilateral improvements by others	2 moves	All
Limited Move	All players are assumed to act optimally and maximum number of state transitions is specified	h moves	All
Non-Myopic	A special case of Limited-Move stability is that the maximum number of moves increases infinitely	Unlimited	All

به موقع، به مقدار نیاز و متناسب با کشت و با دبی معلوم جایگزین می‌شود.

لازم به ذکر است، شرکت آب منطقه‌ای استان تهران، از میزان آب موجود در مخزن سد امیرکبیر، ابتدا نیاز شرب شهرهای تهران و کرج و پس از آن، نیاز کشاورزی را تخصیص می‌دهد. این امر بدان معناست که گزینه ۲ و ۴ در جدول ۲ یکسان بوده و منظور از تحویل به موقع، به مقدار نیاز و با دبی معلوم در گزینه ۲، فقط در ارتباط با کشاورزان می‌باشد. با بازنویسی جدول ۲ و توضیحاتی که درباره تغییر در گزینه‌ها داده شد، جدول ۳ بدست آمد.

لازم به توضیح است که وضعیت پایه، وضعیت موجود در حال بهره‌برداری در منطقه مورد نظر نمی‌باشد. وضعیت پایه، تعریفی از یک حالت است که با توجه به مصاحبه با کارشناسان و مسئولان ذیربط و اهداف آن‌ها، برای مدل‌سازی نامگذاری شده است.

همچنین وضعیت پایه، حالت مطلوب برای کشاورزان (بیشترین مصرف‌کننده آب در حوضه) نمی‌باشد. با توجه به جدول ۳، تعداد ۶ گزینه برای تمامی بازیکنان نوشته شد. با توجه به اینکه هر گزینه دارای دو وضعیت مطلوب (Y) و نامطلوب (N) است، تعداد کل حالات ممکن در بازی برابر ۶۴ خواهد شد.

همانطور که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود، سازمان جهاد کشاورزی، دارای دو اولویت اصلی است. ۱- تولید بیشتر محصولات استراتژیک؛ ۲- تجهیز، توسعه و نوسازی سیستم‌های آبیاری مدرن که این گزینه به معنای افزایش بهره‌وری و عملکرد محصولات است. از آنجایی که اولویت دوم سازمان جهاد کشاورزی با هیچ یک از اهداف بازیکنان دیگر در تضاد نیست پس می‌توان این اولویت را از بازی حذف نمود، بدون اینکه اختلالی در فرآیند بازی ایجاد گردد. لازم به ذکر است که اولویت اول جهاد کشاورزی با توجه به اینکه خواهان کشت محصولات استراتژیک است، ممکن است با الگوی کشت پیش فرض کشاورزان که با توجه به تجربه بدست آورده‌اند در تضاد قرار گیرد. در نتیجه این اولویت را می‌توان در بازی وارد نمود.

از طرفی گزینه اول مورد نظر کشاورزان (گزینه شماره ۵، اجرای آبیاری نوبتی در جدول ۲ که با وضعیت پایه نامطلوب است) را نمی‌توان به عنوان یک گزینه، وارد فرآیند بازی نمود. زیرا، شرایطی می‌تواند در گزینه‌ها لحاظ شود که در شبکه آبیاری فعلی قابل اجرا باشد. خواسته کشاورزان، امکان برداشت آب در هر زمانی است که به گیاه تنش وارد می‌شود. اما این امر با توجه به محدودیت مقدار آب و ظرفیت عبوری کانال‌های موجود در شبکه آبیاری، امکان پذیر نیست. با توجه به آنچه گفته شد، گزینه ۵ در جدول ۲ تغییر کرده و به جای آن گزینه تحویل

**Table 2- Players, options and basic situations of the case study**  
جدول ۲- بازیکنان، گزینه‌ها و وضعیت‌های پایه در منطقه مورد مطالعه

Decision makers	Number	Options	Basic situation
Agricultural Organization	1	More production of strategic agricultural products	Y
	2	Equipping, developing and Reconstruction of irrigation systems	Y
Regional Water Company	3	Delivery on time, as needed and specified flow rate	Y
	4	Unauthorized withdrawal of water from irrigation canals	N
Farmers	5	Implementation of alternate irrigation	N
	6	Earn more profit	Y
Department of Environment	7	Enforcement of environmental law	Y

**Table 3- Rewrite player's options and basic situations**  
جدول ۳- بازنویسی گزینه‌ها و وضعیت‌های پایه بازیکنان

Decision makers	Number	Options	Basic situation
Agricultural Organization	1	More production of strategic agricultural products	Y
Regional Water Company	2	Delivery on time, as needed and specified flow rate	Y
	3	Unauthorized withdrawal of water from irrigation canals	N
Farmers	4	Delivery on time, as needed and specified flow rate	Y
	5	Earn more profit	Y
Department of Environment	6	Enforcement of environmental law	Y



## ۲-۶- حذف وضعیت‌های غیرممکن بازی

ابتدا سازمان جهاد کشاورزی تمایل دارد گزینه ۱، یعنی تولید بیشتر محصولات استراتژیک کشاورزی در راستای تولید و خودکفایی اتفاق بیافتد و اولویت دوم آن نیز بدست آوردن سود بیشتر کشاورزان در راستای حمایت از آن‌ها جهت تحقق هدف اول باشد. اولویت سوم تا پنجم به ترتیب شامل: تحویل به موقع آب، به مقدار نیاز و با دبی معلوم، عدم برداشت غیرمجاز آب از کانال‌ها و اعمال قانون حقابه زیست‌محیطی می‌باشد.

## ۲-۷-۲- شرکت آب منطقه‌ای استان تهران

همانند آنچه برای اولویت‌بندی سازمان جهاد کشاورزی گفته شد، این روند تکرار و اولویت‌بندی برای شرکت آب منطقه‌ای نیز انجام شده است. جدول ۵ اولویت‌بندی شرکت آب منطقه‌ای را نشان می‌دهد. اولویت اول الی پنجم به ترتیب تحویل به موقع آب، به مقدار نیاز و با دبی معلوم، عدم برداشت غیرمجاز آب از کانال‌ها، اعمال قانون حقابه زیست‌محیطی، تولید بیشتر محصولات استراتژیک و بدست آوردن سود بیشتر برای کشاورزان است.

## ۲-۷-۳- کشاورزان

کشاورزان گزینه ۲ و ۴ یعنی تحویل به موقع آب، به مقدار نیاز و با دبی معلوم را به‌عنوان اولویت اول، گزینه ۳ که عدم برداشت غیرمجاز آب از کانال‌ها است را به‌عنوان اولویت دوم و گزینه ۵ یعنی بدست آوردن سود بیشتر را به‌عنوان اولویت سوم انتخاب کردند. گزینه ۱ که تولید بیشتر محصولات استراتژیک کشاورزی است، برای این ذینفع ممتنع می‌باشد.

در این مرحله می‌بایست وضعیت‌های غیرممکن بازی را حذف نمود. برای وضعیت‌های غیرممکن مناقشه در بازی، چنانچه شرکت آب منطقه‌ای در تحویل به موقع آب، به مقدار نیاز و با دبی معلوم به کشاورزان به مشکل برخورد کند، کشاورزان نیز به‌منظور آبیاری، تحویل به موقع آب، به مقدار نیاز و با دبی مشخص را دریافت نخواهند کرد. به‌عبارت دیگر، در صورتی که گزینه ۲ در جدول بازنویسی شده ۳ نامطلوب N باشد، گزینه ۴ در همان جدول نمی‌تواند، مطلوب Y باشد و بالعکس. با درنظر گرفتن این دو حالت، ۳۲ حالت بازی حذف خواهد شد و در نتیجه مجموعاً ۳۲ حالت دیگر باقی خواهد ماند. از طرف دیگر، با توجه به اینکه تمامی وضعیت‌های بازیکنان در جدول ۳ برگشت‌پذیر (قابل تغییر از مطلوب به نامطلوب و بالعکس) می‌باشد در نتیجه از ۳۲ حالت باقیمانده بازی، حالتی حذف خواهد شد.

## ۲-۷- اولویت بازیکنان

داده‌های ورودی در مدل GMCR همان اولویت‌بندی گزینه‌های مطرح شده در جدول ۳ است. اولویت‌بندی این گزینه‌ها مربوط به سود و منفعتی است که ذینفعان برای خود درنظر می‌گیرند. مدل بر اساس داده‌های ورودی، کلیه‌ی حالت‌ها را که با انتخاب مطلوب (Y) و یا نامطلوب (N) و یا ممتنع (-) به هر یک از گزینه‌های مطرح شده توسط بازیکنان نسبت داده شده، پردازش می‌کند.

## ۲-۷-۱- سازمان جهاد کشاورزی کرج

همانطور که در جدول ۴ آمده، اولویت‌بندی بدین ترتیب است که در

Table 4- Prioritizing the options of Karaj Agricultural Organization

جدول ۴- اولویت‌بندی گزینه‌های سازمان جهاد کشاورزی کرج

Prioritizing	Number	Options	Basic situation
1	1	Delivery on time, as needed and specified flow rate	Y
2	5	Earn more profit	Y
3	2,4	Delivery on time, as needed and specified flow rate	Y
4	3	Unauthorized withdrawal of water from irrigation canals	N
5	6	Enforcement of environmental law	Y

Table 5- Prioritizing the options of Regional Water Company of Tehran

جدول ۵- اولویت‌بندی گزینه‌های شرکت آب منطقه‌ای استان تهران

Prioritizing	Number	Options	Basic situation
1	2,4	Delivery on time, as needed and specified flow rate	Y
2	3	Unauthorized withdrawal of water from irrigation canals	N
3	6	Enforcement of environmental law	Y
4	1	More production of strategic agricultural products	Y
5	5	Earn more profit	Y

### ۳- نتایج و بحث

در این پژوهش، خروجی بازی تعریف شده (تمامی حالات ممکن بازی) در مدل گراف به کمک تعاریف پایداری بازی‌های غیرهمکارانه از جمله Nash، GMR، SMR، SEQ، Limited move (Ln=2) و Non-Myopic مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت و وضعیت‌های پایدار برای هر بازیکن مشخص گردید.

در آخر گزینه ۶ که اعمال قانون حقایه زیست‌محیطی و در وضعیت نامطلوب است، قرار دارد. به عبارت دیگر، کشاورزان، عدم تحویل حقایه محیط‌زیستی را در نظر دارند. با توجه به اولویت‌بندی فوق و براساس جدول ۶ وضعیت شماره ۲ و ۴ دارای بیشترین اولویت و وضعیت شماره ۶ دارای کمترین اولویت برای این بازیکن است.

### ۲-۷-۴- سازمان محیط‌زیست

بر اساس جدول ۸ وضعیت شماره ۳۰ دارای بیشترین اولویت و وضعیت شماره ۱ دارای کمترین اولویت برای سازمان جهاد کشاورزی، شرکت آب منطقه‌ای و سازمان محیط‌زیست است. این در حالی است که برای کشاورزان، وضعیت شماره ۱۶ دارای بیشترین اولویت است و علت این امر نیز ترجیح دادن منفعت شخصی کشاورزان بر منفعت کل سیستم می‌باشد. وضعیت شماره ۱ دارای کمترین اولویت و همچنین وضعیت شماره ۳۰ در هفتمین اولویت این بازیکن قرار دارد.

اولویت‌های اول تا سوم سازمان محیط‌زیست به ترتیب اعمال قانون حقایه زیست‌محیطی، عدم برداشت غیرمجاز آب از کانال‌ها، تحویل به موقع آب، به مقدار نیاز و با دبی معلوم است. چهارمین و پنجمین اولویت این سازمان که نظر ممتنع بر روی آن‌ها دارد به ترتیب، تولید بیشتر محصولات استراتژیک کشاورزی و بدست آوردن سود بیشتر کشاورزان در نظر گرفته شد که در جدول ۷ قابل مشاهده است.

Table 6- Prioritizing the options of Farmers

جدول ۶- اولویت‌بندی گزینه‌های کشاورزان

Prioritizing	Number	Options	Basic situation
1	2,4	Delivery on time, as needed and specified flow rate	Y
2	3	Unauthorized withdrawal of water from irrigation canals	Y
3	5	Earn more profit	Y
4	1	More production of strategic agricultural products	-
5	6	Enforcement of environmental law	N

Table 7- Prioritizing the options of Department of Environment

جدول ۷- اولویت‌بندی گزینه‌های سازمان محیط زیست

Prioritizing	Number	Options	Basic situation
1	6	Enforcement of environmental law	Y
2	3	Unauthorized withdrawal of water from irrigation canals	N
3	2,4	Delivery on time, as needed and specified flow rate	Y
4	1	More production of strategic agricultural products	-
5	5	Earn more profit	-

Table 8- The priority of 48 possible choices for the decision makers

جدول ۸- اولویت‌بندی ۳۲ وضعیت ممکن به ترتیب ارجحیت برای بازیکنان

Decision makers	decision makers possible choices for The priority of 32															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Agricultural Organization	30	32	14	16	24	22	6	8	28	13	2	3	4	5	7	9
Regional Water Company	30	22	29	21	32	12	11	10	9	8	7	14	6	5	4	3
Farmers	16	15	31	13	14	32	30	29	12	2	3	4	5	6	7	8
Department of Environment	30	22	21	29	17	26	25	18	20	31	19	32	23	24	27	28

Decision makers	The priority of 32 possible choices for decision makers															
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Agricultural Organization	10	11	12	29	27	15	31	17	18	19	20	21	23	25	26	1
Regional Water Company	2	13	16	15	31	17	18	19	20	23	24	25	26	27	28	1
Farmers	9	10	11	26	25	28	27	17	18	19	20	21	22	23	24	1
Department of Environment	8	2	3	4	5	6	7	16	9	10	11	12	13	14	15	1

اولویت تمامی وضعیت‌ها برای بازیکنان در این بازی، یکسان نیست. در نتیجه برای حل مناقشه باید از بین نقاط با تعادل قویتر (نقاطی که در مقایسه با دیگر نقاط، دارای تعداد تعاریف پایداری بیشتری باشند) که بیشترین اولویت‌ها را دارند، گزینش انجام شود.

رخداد در بازی دانست. در کلیه تعاریف پایداری جدول ۱، شرط عقلانیت فردی رعایت شده است. به این معنا که بازیکنان فقط در صورتی تغییر رفتار می‌دهند که افزایش سود و یا منفعت شخصی حاصل شود.

پس از تعیین وضعیت‌های پایدار برای هر بازیکن بر مبنای تعاریف پایداری ذکر شده، بایستی نقاط تعادل بازی را مشخص نمود. نقطه تعادل بازی، یکی از حالت‌های تعریف شده است که به ازای یک تعریف پایداری، تمامی بازیکنان تمایلی به تغییر راهبرد خود نداشته باشند و در واقع بیشترین سود و منفعت فردی آن‌ها رخ داده باشد. این بدان معنا است که بازیکنانی که دارای ویژگی‌های آن تعریف پایداری هستند، وضعیت مذکور را به‌عنوان راه حل پذیرفته‌اند.

با توجه به مرور منابع، پایداری نش از جمله مهمترین تعاریف پایداری به‌منظور تحلیل بازی و بررسی تعادل در بازی‌های غیرهمکارانه می‌باشد. اما با توجه به ویژگی‌های آن و نیز مشخصات حاکم بر مناقشه تعریف شده در این پژوهش، معیار مناسبی جهت تحلیل این بازی نیست. استفاده از تعاریف پایداری نش در بازی‌های دنیای واقعی که بازی‌های یک حرکت نیستند (به عنوان مثال بازی‌های منابع آبی مشترک)، ممکن است منجر به پیش‌بینی‌هایی شود که در عمل معتبر نباشند (Ostrom, 1998). در پایداری‌های GMR و SMR نیز بازیکن فقط از ترجیحات خود مطلع است. در نتیجه با فضای بازی تعریف شده هم‌خوانی ندارد. در پایداری SEQ تعداد حرکات محدود (۲ حرکت) است. در نتیجه فقط زمانی می‌توان از این پایداری در تحلیل این بازی استفاده کرد که قیدی برای بازیکنان تعریف شود که امکان تغییر رفتار برای آن‌ها محدود باشد. یعنی پس از انتخاب پایه وضعیت خود، تنها یکبار مجاز به تغییر رفتار باشند. پایداری Non myopic با مشخصات ذکر شده در جدول ۱، برای تحلیل بازی شکل گرفته در این پژوهش تناسب بیشتری دارد. مشخصات این پایداری، عدم محدودیت در تغییر رفتار بازیکنان و همچنین اطلاع بازیکنان از ترجیحات دیگر بازیکنان است که در فضای بازی مورد بحث، انطباق بیشتری نسبت به دیگر تعاریف پایداری ذکر شده دارد. در نهایت، با توجه به بررسی‌های انجام شده، تحلیل پایداری Non myopic برای این بازی قابل اطمینان بوده و خروجی این پایداری (وضعیت تعادلی معرفی شده با تعریف پایداری Non myopic)، احتمال بیشتری در رخداد رفتار بازیکنان دارد.

از آنجا که تعاریف پایداری گوناگون، دارای مبانی و اصول متفاوتی در یافتن نقطه تعادل در طول مناقشه هستند و نشانگر رفتارهای متفاوتی است که بازیکنان ممکن است ارائه دهند، هر نقطه و یا حالتی از بازی که بر اساس این تعاریف دارای تعداد پایداری بیشتری باشد، دارای احتمال رخداد بیشتری است. به عبارت دیگر، احتمال آنکه بازیکنان، آن وضعیت را به‌عنوان راه حل مناقشه بپذیرند، افزایش می‌یابد. نقاط تعادل حالات ممکن بازی، تعداد پایداری‌ها و میزان اولویت برای هر بازیکن بر اساس اولویت‌بندی در جدول ۹ نشان داده است. بر این اساس، وضعیت‌های ۲۰، ۲۶، ۲۸، ۳۰ و ۳۲ نقاط پایداری در این بازی هستند. تعداد پایداری‌ها برای وضعیت‌های ۲۰، ۲۶، ۲۸، ۳۰ و ۳۳، به ترتیب ۲، ۳، ۶ و ۴ پایداری است که نوع آن‌ها در جدول ۹ نشان داده شده است. با توجه به وضعیت‌هایی که دارای پایداری است، وضعیت ۳۰ دارای ۶ پایداری بوده و اولویت اول سه بازیکن (سازمان جهاد کشاورزی، شرکت آب منطقه‌ای، سازمان محیط‌زیست) و اولویت هفتم کشاورزان است که بر این اساس می‌توان آن را محتمل‌ترین

**Table 9- Conflict equilibrium and the priority of each player**  
جدول ۹- نقاط تعادل مناقشه و تعداد پایداری هر نقطه و اولویت هر بازیکن در نقطه تعادل

Decision makers	options	Equilibrium states				
		20	26	28	30	32
Agricultural Organization	More production of strategic agricultural products	Y	Y	Y	Y	Y
Regional Water Company	Delivery on time, as needed and specified flow rate	N	N	N	Y	Y
	Unauthorized withdrawal of water from irrigation canals	Y	N	Y	N	Y
Farmers	Delivery on time, as needed and specified flow rate	N	N	N	Y	Y
	Earn more profit	N	Y	Y	Y	Y
Department of Environment	Enforcement of environmental law	Y	Y	Y	Y	Y
	The number of stability	2	2	3	6	4
	Organization Priority condition for Agriculture	27	31	9	1	2
	Company Priority condition for Regional Water	25	29	31	1	5
	Priority condition for farmers	25	20	22	7	6
	Priority condition for Department of Environment	9	6	16	1	12

برای تجزیه و تحلیل مناقشه‌ای خاص، می‌تواند نتایج قابل اعتماد و بینشی ارزشمندی را برای سیاست‌گذاران ایجاد نماید. زمانی که عدم اطمینان در مورد رفتار بازیکنان وجود داشته باشد، استفاده از مفاهیم مختلف پایداری می‌تواند مفید باشد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، حل مناقشه در تخصیص آب به ذینفعان، در حوضه سد امیرکبیر مورد بررسی قرار گرفت. دلیل این مناقشه، توجه ذینفعان به سود و منفعت شخصی خود بوده و همین امر باعث ایجاد رقابت بین آن‌ها شده است. برای حل این مسأله، از مدل گراف در نظریه بازی‌های غیرهمکارانه استفاده شد. پس از اجرای مدل گراف تعادل بازی، شناسایی گردید. از بین ۳۲ وضعیت در بازی تعریف شده، ۵ نقطه تعادل، شناسایی شد. تعاریف پایداری در بازی‌های غیر همکارانه جهت انعکاس بهتر واقعیت در روند تصمیم‌گیری تعاملی در زمینه منابع آب معرفی شدند. نتایج نشان داد که از بین ۶ تعاریف پایداری مورد استفاده در این پژوهش، تحلیل پایداری Non myopic برای تحلیل این بازی قابل اطمینان بوده و خروجی این پایداری، احتمال بیشتری در رخداد رفتار بازیکنان دارد. مشخصات این پایداری، عدم محدودیت در تغییر رفتار بازیکنان (تعداد تغییر وضعیت اتخاذ شده) و همچنین اطلاع بازیکنان از ترجیحات دیگر بازیکنان است که در فضای بازی مورد بحث، انطباق بیشتری نسبت به دیگر تعاریف پایداری ذکر شده دارد. وضعیت شماره ۳۰ در تمامی تعاریف پایداری و از همه مهمتر، تعاریف پایداری Non myopic صدق می‌کند و در نتیجه می‌توان این وضعیت را محتمل‌ترین و مطلوبترین وضعیت رخداد بازی دانست. این وضعیت دارای بیشترین اولویت برای سازمان جهاد کشاورزی، شرکت آب منطقه‌ای، سازمان محیط‌زیست و اولویت هفتم برای کشاورزان است. با توجه به نتیجه مدل و اولویت‌های سازمان آب منطقه‌ای، توجه ویژه به تحویل به موقع آب، به مقدار نیاز و با دبی معلوم، در توزیع مناسب آب میان کشاورزان جهت کاهش مناقشات، ضروری است.

در جدول ۱۰ تعداد پایداری برای وضعیت‌هایی که نقاط تعادل بازی هستند (۲۰، ۲۶، ۲۸، ۳۰ و ۳۲)، نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود، وضعیت ۳۰ دارای بیشترین تعداد پایداری است. پس از آن وضعیت‌های ۳۲ و ۲۸ به ترتیب دارای ۴ و ۳ پایداری و وضعیت‌های ۲۰ و ۲۶ دارای ۲ پایداری هستند. حالت ۳۰ با توجه به خروجی تعاریف پایداری، بهترین حالت ممکن برای سازمان جهاد کشاورزی، آب منطقه‌ای، کشاورزان و سازمان محیط‌زیست است.

نتایج Noori et al. (2020) نشان داد که پایداری نش در پیدا کردن حل نهایی مسائل منابع آب که اغلب به شکل بازی‌های پویا و چند حرکتی هستند، ممکن است کارآمد نباشد، که در پژوهش حاضر نیز این امر بررسی و مورد تأیید قرار گرفت. آن‌ها همچنین دریافتند که تعاریف پایداری معرفی شده مانند GMR، SMR، SEQ و L2 می‌توانند امکان حل مناقشات آبی را بهتر پیش‌بینی کنند. البته با توجه به مرور منابع و بررسی انجام گرفته در این پژوهش، می‌بایست اینطور گفته شود که هر یک از تعاریف پایداری با توجه به شرایط، قوانین و فضای منحصر به فرد هر بازی در صورتی که تطابق داشته باشد، می‌تواند پیش‌بینی بهتری از مناقشات ارائه دهد.

در این پژوهش، نقطه تعادل ۳۰ که دارای پایداری Non myopic است، دارای ۵ پایداری دیگر نیز می‌باشد. از طرفی امکان تغییر رفتار بازیکنان به تعداد نامحدود در پایداری Non myopic، فضایی را در بازی ایجاد خواهد کرد که در واقعیت نیز امکان اتفاق آن وجود دارد. به عبارت دیگر، هر زمان که بازیکنان وضعیت مطلوب‌تری را بیابند امکان تغییر رفتارشان وجود خواهد داشت که در واقع همان شرط عقلانیت فردی است. آن‌ها همچنین متذکر شدند، زمانی که اطلاعات درباره‌ی ذینفعان ناقص باشد، به کار بردن دامنه‌ای از تعاریف پایداری امکان بهبود نتایج را داشته و دید بهتری را نسبت به مشکلات ارائه خواهد داد.

با مقایسه نتایج بدست آمده در این پژوهش و نتایج دیگر پژوهشگران، می‌توان دریافت که بکار بردن مدل گراف و تعاریف پایداری مناسب

Table 10- Summarized condition of stability in different equilibria

جدول ۱۰- جمع‌بندی وضعیت تحلیل پایداری در تعادل‌های مختلف

Stability definition	Equilibrium states				
	32	30	28	26	20
Nash (L <sub>1</sub> )	✓	✓			
GMR	✓	✓	✓	✓	✓
SMR	✓	✓	✓	✓	✓
SEQ	✓	✓	✓		
Limited Move (n=2)		✓			
Non-Myopic		✓			

- Bielsa J, Rosa D (2001) An economic model for water allocation in north eastern Spain. *Water Resources Development* 17(3):397-410
- Blaikie PM, Brookfield H (1987) *Land degradation and society*. London: Methuen
- Blomquist W (1992) *Dividing the water: Governing groundwater in Southern California*. Institute for Contemporary, San Francisco
- Carraro C, Filar J A (1995) *Control and game-theoretic models of the environment*. Birkhäuser, Boston
- Elimam L, Rheinheimer D, Connell C, Madani K (2008) An ancient struggle: A game theory approach to resolving the Nile conflict. In: Babcock RW, Walton R (eds) *Proceeding of the 2008 world environmental and water resources congress*. American Society of Civil Engineers, Honolulu, Hawaii, pp 1-10
- Fang L, Hipel K, Kilgour D (1993) *Interactive decision making: the graph model for conflict resolution*. Wiley, New York, USA, 221p
- Fang L, Hipel KW, Kilgour DM (1998) The graph model approach to environmental conflict resolution. *Journal of Environmental Management* 27(2):195-212
- Getirana ACV, Malta VDF, de Azevedo JPS (2008) Decision process in a water use conflict in Brazil. *Water Resources Management* 22(1):103-118
- Gopalakrishnan C, Levy J, Li KW, Hipel KW (2005) Water allocation among multiple stakeholders: Conflict analysis of the Waiahole water project, Hawaii. *International Journal of Water Resources Development* 21(2):283-295
- Heany JP, Dickinson RE (1982) Methods for apportioning the costs of a water resource project. *Water Resources Research* 18(3):476-482
- Hipel KW, Kilgour DM, Fang L, Peng X (1997) The decision support system GMCR II in environmental conflict management. *Applied Mathematics and Computation* 83(2-3):117-152
- Kilgour DM, Hipel KW (2005) The graph model for conflict resolution: past, present, and future. *Group Decision and Negotiation* 14(6):441-460
- Leete R, Donnay F, Kersemaekers S, Schoch M, and Shah M (2003) *Global population and water. A UNFPA Report on Population and Development Strategies Series, number 6*. UNFPA, New York
- Lejano RP, Davos CA (1995) Cost allocation of multiagency water resource projects: Game theoretic approaches and case study. *Water Resources Research* 31(5):1387-1393

کشاورزان به عنوان بیشترین مصرف‌کننده آب، خواستار تحویل به موقع آب، به مقدار نیاز و با دبی معلوم می‌باشند، که طبق خروجی مدل، برای رسیدن به وضعیتی پایدار باید از حالت عدم برداشت غیرمجاز آب از کانال‌ها، تبعیت کرده و این موضوع را عملی نمایند. با توجه به نتایج، حل این مناقشه از طریق تشویق کشاورزان به راه‌حل‌های همکاری و تنبیه متخلفان امکانپذیر است. برای دستیابی به وضعیت شماره ۳۰، سیاستگذاران و سازمان‌های مربوطه (وزارت نیرو و جهاد کشاورزی) می‌بایست زمانی که کشاورزان طبق الگوی کشت پیشنهادی جهاد کشاورزی اقدام به کشت می‌نمایند، تشویق‌هایی نظیر تخصیص یارانه (اختصاص بودجه به منظور تهیه آفت‌کش‌ها، تهیه ماشین‌آلات کشاورزی برای کشاورزان و اجاره این ادوات با قیمت مناسب به آن‌ها)، در نظر گرفته شود. از طرفی می‌توان جریمه‌هایی به منظور جلوگیری از برداشت غیرمجاز آب از کانال‌های آبیاری برای کشاورزان مشخص گردد. به طور مثال در صورت وقوع برداشت غیرمجاز آب، جریمه کاهش تخصیص آن‌ها در سال‌های بعد برای متخلف در نظر گرفته شود. پایداری‌های معرفی شده برای تحلیل بازی‌های ساده منابع آب در این پژوهش استفاده شد. با این وجود، می‌توان این تعاریف پایداری را برای حل تعارضات پیچیده‌تر منابع آب در دنیای واقعی به کار برد. استفاده از این مفاهیم پایداری می‌تواند کاربرد و اعتبار مدل‌های تعارض منابع آب را بهبود بخشد و بینش ارزشمندی در مورد حل تعارض فراهم کند. بررسی مناقشات، تحت تعاریف مختلف پایداری نشان می‌دهد که چگونه نتایج بازی بر اساس رفتارهای مختلف بازیکنان، تغییر می‌کند.

#### پی‌نوشت‌ها

- 1- Graph Model for Conflict Resolution
- 2- General Meta Rationality
- 3- Symmetric Meta Rationality
- 4- Sequential

#### ۵- مراجع

- Al Radif A (1999) Integrated Water Resources Management (IWRM) an approach to face the challenges of next century and to avert future crises. *Desalination* 124(1-3):145-153
- Becker N, Easter KW (1995) Water diversion in the great lakes basin analyzed in a game theory framework. *Water Resources Management* 9:221-242
- Berkes F (1989) *Common property resources: Ecology and community-based sustainable development*. Belhaven, London

- Ostrom E, Gardner R, Walker J (1994) Rules, games, and common-pool resources. The University of Michigan Press, An Arbor, Michigan
- Sheikhmohammady M, and Madani K (2008) Bargaining over the Caspian Sea-the largest Lake on the earth. In: Babcock RW, Walton R (Eds.), Proceeding of the 2008 World Environmental and Water Resources Congress, Honolulu, Hawaii. American Society of Civil Engineers. pp:1-9
- Straškraba M, Gnauck AH (1985) Freshwater ecosystem: Modelling and simulation. Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo
- Tisdell JG, Harrison SR (1992) Estimating an optimal distribution of water entitlements. *Water Resources Research* 28(12):3111-3117
- UN-CSD (1994) Review of sectoral clusters, first phase: Human settlement and fresh water, fresh water resource. Report of the Secretary General of the UN, General Overview, Paragraphs 3-10
- UNESCAP (2000) Principles and practices of water allocation among water-use sectors. ESCAP Water Resources Series No. 80, Bangkok, Thailand
- Van der Veeren R, Tol R (2003) Game theoretic analyses of nitrate emission reduction strategies in the Rhine river basin. *International Journal of Global Environmental Issues* 3(1):74-103
- Vieira ZM de CL, Braga CFC, Ribeiro MMR (2005) Conflict analysis as a decision support tool in urban water demand management. In: Savic DA, Bertoni JC, Mariño MA, Savenije HHG (eds) Sustainable water management solutions for large cities: the proceedings of the international symposium on sustainable water management for large cities (S2). IAHS 293. Foz do Iguaçu, Brazil, 3-9 April
- Von Neumann J, Morgenstern O (1944) Theory of games and economic behavior. Princeton University Press, Princeton. 776p
- Wang L (2005) Cooperative water resources allocation among competing users. A Ph.D. Dissertation, the University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada
- Wang L, Fang L, Hipel KW (2003) Water resource allocation: A cooperative game approach. *Journal of Environmental Informatics* 2(1):11-22
- Wei SK, Gnauck A (2007) Simulating water conflicts using game theoretical models for water resources management. In: Tiezzi, E., Marques, J.C., Brebbia, C.A., Jørgensen, S.E. Eds.), *Ecosystems and Sustainable Development VI*. WIT Press, Southampton, Boston, pp. 3-12
- Lewandowski A (1979) A game-theoretical approach to modelling the behaviour of water users in a quality control problem. In: Findeisen W, *Studies in Control methodology for Water resource Systems*. Techn. Dept., Inst. Automat. Control, Techn. Uni. Warsaw, Warsaw, pp. 83-97
- Li KW, Kilgour DM, Hipel KW (2004) Status quo analysis of the Flathead River conflict. *Water Resources Research* 40:W05S03
- Ma J, Hipel KW, De M (2005) Strategic analysis of the James Bay hydro-electric dispute in Canada. *Canadian Journal of Civil Engineering* 32(5):868-880
- Madani K (2010) Game theory and water resources. *Journal of Hydrology* 381(3-4):225-238
- Madani K, Hipel KW (2007) Strategic insights into the Jordan River conflict. P 1-10. In: Kabbes, K.C. (Ed.), *Proceeding of the 2007 World Environmental and Water Resources Congress*, Tampa, Florida, American Society of Civil Engineers
- Madani K, Hipel KW (2011) Non-cooperative stability definitions for strategic analysis of generic water resources conflicts. *Water Resource Management* 25(8):1949-1977
- Nandalal KWD, Hipel KW (2007) Strategic decision support for resolving conflict over water sharing among countries along the Syr Darya River in the Aral Sea Basin. *Journal of Water Resources Planning and Management* 133(4):289-299
- Nash JF (1951) Non-cooperative games. *Annals of Mathematics* 54(2):286-295
- Niksokhan MH, Kerachian R, Karamouz M (2009) A game theoretic approach for trading discharge Permits in Rivers. *Water Science and Technology* 60(3):793-804
- Noakes DJ, Fang L, Hipel KW, Kilgour DM (2003) An examination of the salmon aquaculture conflict in British Columbia using the graph model for conflict resolution. *Fisheries Management and Ecology* 10(3):123-137
- Noori M, Emadi AR, Fazloul R (2020) Analyzing the interaction of agriculture and industry sectors in water allocation with the non-cooperative game approach. *Journal of Water and Soil Conservation* 27(1):145-161 (in Persian)
- Okada N, Nakase D, Sakakibara H (1999) Effectiveness of the presentation of alternatives by coordinator in multi-purpose water resources development projects. In: *Proceedings of IEEE SMC '99 (Systems, Man, and Cybernetics, 1999)*, vol 5. Tokyo, Japan, pp 949-954

- Nelson River Basin. *Journal of Hydrology* 202(1-4):263-279
- Xu H, Hipel KW, Kilgour DM, Fang L (2018) Conflict resolution using the graph model: Strategic interactions in competition and cooperation. Cham: Springer International Publishing
- Wei S (2008) On the use of game theoretic models for water resources management. Ph.D. Thesis, Brandenburg University of Technology in Cottbus
- Westmacott JR, Burn DH (1997) Climate change effects on the hydrologic regime within the Churchill-