تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال چهاردهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷
Volume 14, No. 4, Winter 2019 (IR-WRR)
۱۰۸-۱۱۹

تحلیل پایداری در تسهیم آب رودخانه‌های مرزی با استفاده از نظریه بازی، مطالعه موردی: رودخانه هریرود

علی شوقی جوان[۱] و آزاده احمدی[۲*]

چکیده

در سال‌های اخیر، رشد روز افزون جمعیت و توسعه اقتصادی در سرتاسر دنیا منجر به افزایش تقاضا برای منابع محدود آب شده و مدیریت آن را به‌خصوص در حوضه‌های آبریز مشترک با چالش جدی مواجه کرده است. نظریه بازی‌ها یکی از مهم‌ترین ابزاری است که امروزه برای حل مناقشات و یافتن تعادل در سیستم استفاده می‌شود. در این مقاله با استفاده از رویکرد غیرهمکارانه نظریه بازی‌ها به تحلیل رفتار بازیکنان در حوضه مشترک هریرود پرداخته شد. در این تحقیق ابتدا یک مدل جامع برنامه‌ریزی خطی جهت محاسبه سود خالص اولیه بازیکنان توسعه داده شد. سپس سود بازیکنان در سناریوی غیرهمکارانه تعریف شده محاسبه گردید. در گام بعدی، استراتژی بازیکنان با استفاده از شاخص‌های مختلف پایداری، تحلیل و وضعیت تعادل در هر یک از این روش‌ها بررسی شد. همچنین از مفهوم جبران انگیزشی جهت بررسی امکان تغییر رویکرد افغانستان از غیرهمکارانه به همکارانه استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد، در رویکرد غیرهمکارانه سود ایران از مقدار ۷/۸ میلیون دلار به ۴/۴ میلیون دلار نزدیک به ۴۵ درصد کاهش پیدا می‌کند. هم‌چنین رویکرد جبران انگیزشی می‌تواند باعث تغییر استراتژی افغانستان از حالت غیرهمکارانه به همکارانه شود، به‌طوری که بر اساس بهینه پارتو امکان افزایش ۴۰ درصدی سود ایران بدون کاهش میزان سود در افغانستان وجود دارد.

کلمات کلیدی: نظریه بازی‌ها، همکاری، تحلیل پایداری، حل اختلاف، رودخانه هریرود.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۱۱/۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۳/۱۴

۱-دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

A Stability Analysis of Water Sharing in Transboundary Rivers Using Game Theory; A Case Study: Harirud River

A. Shoghi Javan [1] and A. Ahmadi[2]*

Abstract

In recent years, population growth and economic development all around the world has led to an increase in water demand and it has been a serious challenge to its management, particularly, in Shared River Basins. Game theory is one of the most substantial means of conflict resolution and reaching equilibrium in a system. In the present study, the players' strategies were analyzed through the non-cooperative approach of game theory in the shared basin of Harirud. At first, a comprehensive linear programming model was developed to calculate the player's net profit. Then the players profit was calculated considering the defined non-cooperative scenario. In the next step, the players' strategy was carried out using different approaches to analyze each of these methods and their stability. The concept of intensive compensation was also used to examine the possibility of changing the Afghanistan's approach from non-cooperative to cooperative. The results showed that in non-cooperative approach, Iran's profit is reduced from 7.8 million dollars to 44 million dollars that is about 45 percent. Similarly, the intensive compensation approach can change the strategy of Afghanistan from non-cooperative to cooperative. Therefore, according to Pareto's optimality, it is possible to increase 40 percent of Iran's profits without reducing profits in Afghanistan.

***Keywords*:** Game Theory, Cooperative Games, Conflict Resolution, Stability Analysis, Harirud River.

Received: January 21, 2018
Accepted: June 4, 2018

1- Research Associate, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
2- Associate Professor, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. E-mail: aahmadi@cc.iut.ac.ir
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، افزایش سیر صعودی تقاضا، کمبود منابع آب و عدم حکمرانی مناسب آن، باعث شده که بسیاری از کشورها به بهره‌برداری هر چه بیشتر از رودخانه‌های بین‌المللی و منابع آبی مشترک روی آورند که این موضوع احتمال افزایش مناقشات آبی را به دنبال دارد (Thomas and Warner, 2015).

رودخانه‌های مرزی شامل رودخانه‌هایی است که از دو یا چند کشور عبور می‌کند و یا تشکیل‌دهنده تمام یا قسمتی از مرز دو یا چند کشور می‌باشند. این رودخانه‌ها به‌عنوان یکی از انواع مرزها نقش بسیاری در تنظیم روابط میان کشورهای همسایه دارند. در قرن ۲۱، بیش از ٪۴۰ جمعیت جهان در مناطقی زندگی می‌کنند که حوضه‌های آبریز آن‌ها مشترک می‌باشند. وضعیت منابع آبی مشترک در جهان بدین صورت است که ۲۷۶ رودخانه مرزی، ۴۴۵ آبخوان مشترک و بیش از ۱۶۰۰ دریاچه و مخزن مشترک وجود دارد (Stefano et al., 2012 Allen, 2001;). مطالعه بر روی حوضه‌های آبی مشترک در جهان نشان‌دهنده این امر می‌باشد که منابع آبی مشترک می‌توانند هم عامل افزایش سطح مشارکت و همکاری کشورها و هم عامل تنش و تضاد بین آن‌ها باشد (Biswas, 2011 ;Wolf, 1998). با افزایش جمعیت کشورهای حاشیه رودخانه‌های مرزی و افزایش نیاز به آب، طبیعتاً چالش‌های مدیریتی بر سر برداشت از آب بین کشورهای هم‌جوار و ذینفع بر سر آب‌های مشترک هم‌شدت بیشتری خواهد یافت. مسایل رودخانه‌های مرزی یکی از چالش‌های مهم در دنیا می‌باشد. لذا توجه به آن و لزوم استفاده بهینه جریان‌های مرزی در آینده می‌تواند به یک مسأله حیاتی تبدیل گردد.

نظریه بازی‌ها ابزاری مناسب برای تعیین و تشخیص رفتار بخش‌های مختلف منابع آب به هنگام مواجه با مشکل کمبود و توصیف چگونگی روابط بین آن‌ها می‌باشد. نظریه بازی‌ها به‌طور رسمی در سال ۱۹۴۴ توسط وان‌نیمن و موگنستن ارائه شد (Neumann and Morgenstern, 1945). این نظریه به‌طور کلی به دو دسته بازی‌های همکارانه و غیرهمکارانه تقسیم می‌گردند. نظریه بازی‌ها، با توجه به شبیه‌سازی رفتار و در نظر گرفتن حالت‌های مختلف همکاری بین بازیکنان، ابزاری قدرتمند برای حل مشکلات و اختلافات در زمینه تخصیص منابع آب می‌باشد. در ادامه به بررسی استفاده از این ابزار در منابع آب پرداخته می‌شود.

تاکنون مطالعات بسیاری توسط محققین در زمینه حل اختلاف در رودخانه‌های مرزی با استفاده از ابزار نظریه بازی‌ها صورت گرفته شده است که در این قسمت به بررسی آنها پرداخته می‌شود. Rogers (1969) از برنامه‌ریزی خطی برای محاسبه سود بهینه حاصل از کنترل سیل رودخانه گنگ و براهماپوترا که رودخانه‌ای مرزی بین دو کشور هند و پاکستان شرقی می‌باشد، استفاده نمود. سپس نتایج به دست آمده از برنامه‌ریزی خطی را با استفاده از یک مدل بازی‌های مجموع غیر صفر برای دو کشور مورد بررسی قرار داد. وی با استفاده از مفهوم نظریه بازی‌ها، یک مجموعه استراتژی جذابی را برای همکاری بین دو کشور ایجاد نموده که سود هر یک را افزایش می‌دهد. Madani and Hipel (2007) با به‌کارگیری رویکرد مدل حل اختلاف به روش نمودارهای شاخه‌ای، مناقشات موجود در تخصیص آب رودخانه اردن که بین کشورهای فلسطین اشغالی، اردن، لبنان، فلسطین و سوریه را بررسی کردند که با توجه به بحرانی بودن شرایط سیاسی–اجتماعی بین ملل عرب و اسراییل، نوع اختلاف به صورت غیرهمکارانه می‌باشد. Madani (2010) کاربرد نظریه بازی‌ها در منابع آب را بررسی کرده و با ارائه پیشینه‌ای از کاربرد این نظریه در منابع آب سه نمونه بازی مختلف و پرکاربرد ترسوها، معمای زندانی‌ها و شکار و شکارچی بررسی کرد. از نمونه مثال‌ها بررسی اختلاف بر سر رودخانه مرزی هیرمند بین ایران و افغانستان در قالب بازی ترسوها می‌باشد. Elimam et al. (2008) با استفاده از تئوری بازی‌ها به بررسی اختلافات دیرینه بین کشورهای مصر، سودان و اتیوپی و چندین کشور دیگر که در بالادست رود نیل قرار دارند، پرداختند نتایج این تحقیق نشان از عدم پایداری وضعیت کنونی در منطقه دارد و روابط با مصر سبب افزایش پایداری در منطقه خواهد شد. Hipel and Keith (2014) به درگیری سه کشور ترکیه، عراق و سوریه پرداخته‌اند که ترکیه در بالادست عراق و سوریه بر سر رودخانه دجله و فرات قرار گرفته است و با اعمال مدل حل اختلاف به حل درگیری بین سه کشور پرداختند که حل تعارض از سوی ائتلاف‌ها و مداخله حزب سوم امکان‌پذیر است. Li et al. (2016) با بررسی بازی غیرهمکارانه در رودخانه‌های مرزی به توسعه یک مدل بازی غیر همکارانه برای تحلیل سناریوهای مناقشه پرداختند. آن‌ها وجود راه‌حل تعادل نش را با تابع Nikaido–Isoda ثابت نمودند. Zarezadeh et al. (2016) به مطالعه امکان‌سنجی تخصیص آب بیشتر به محیط زیست بین ایران و افغانستان در حوضه آبریز هیرمند با استفاده از ابزار نظریه بازی‌ها پرداختند. آن‌ها با ارائه یک سری مشوق‌هایی از سمت ایران به بررسی افزایش آب قابل مذاکره برای ایران پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد پرداخت مشوق تا حدود ۲۰۰ دلار برای هر کیلوگرم خشخاش کارایی دارد و می‌تواند نتیجه برد–برد برای هر دو کشور داشته باشد. Gholami et al. (2017) به بررسی و ارائه راهکار برای حل مناقشه‌ی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود با استفاده از نظریه بازی‌ها پرداختند. آن‌ها برای مدل‌سازی و تحلیل مناقشه از مدل گراف (GMCR)

استفاده کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان‌دهنده اهمیت آموزش کشاورزان و مشارکت دادن آن‌ها در تصمیم‌گیری‌ها به عنوان بازیگران اصلی در کاهش مناقشات می‌باشد.

در چند سال اخیر اجرای طرح‌های توسعه توسط کشور افغانستان و استفاده یک‌طرفه از منابع آب حوضه مشترک هریرود باعث افزایش اختلاف در این حوضه شده است (Thomas and Warner, 2015). بر اساس مطالعات صورت گرفته در تحلیل مناقشات آبی، مدل‌های غیر همکارانه به دلیل تحلیل کامل استراتژی و پیش‌بینی حرکات بازیکنان می‌تواند از نتایج واقع‌بینانه‌تری نسبت به رفتار بازیکنان در دنیای واقعی برخوردار باشند. در این مطالعه با توجه به عدم وجود معاهده در برداشت از آب این رودخانه بین سه کشور ایران، افغانستان و ترکمنستان، به بررسی این موضوع با ساخت مدل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی خطی و نظریه بازی‌های غیرهمکارانه پرداخته شده است. در بازی‌های غیرهمکارانه هر بازیکن فقط توجه به افزایش سود خود دارد و به منافع دیگر بازیکنان توجه ندارد. بر این اساس، در این مطالعه با توجه به ساخت و بهره‌برداری سد سلما توسط افغانستان به عنوان کشور بالادست در حوضه، با در نظر گرفتن سناریوی بهره‌برداری یک‌طرفه از سد سلما از سوی دولت افغانستان به بررسی و تحلیل نتایج حاصل از آن پرداخته شد. یکی از نوآوری‌های استفاده شده در این مطالعه استفاده از مفهوم جبران انگیزشی است. به‌طوری‌که بر این اساس، کشور ایران در مواجه شدن با سناریوی پیش‌آمده از سوی دولت افغانستان دو راه‌حل ایجاد جبران انگیزشی برای ایجاد همکاری با دولت افغانستان و یا پذیرفتن سناریوی پیش‌آمده و تغییر در رویکرد مدیریتی در داخل کشور را دارد. در نهایت نتایج حاصل از بازی غیرهمکارانه با استفاده از پنج تعادل Nash، GMR^1، SMR^2، SEQ^3 و Limited-Move Stability مورد بررسی قرار گرفت.

۲- روش تحقیق

در این مطالعه، پس از جمع‌آوری و تحلیل داده‌های مورد نیاز، در گام اول به توسعه مدل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی خطی برای محاسبه مقدار سود هر یک از بازیکنان در حالت عدم همکاری توسعه داده شد. سپس مقدار سود هر یک از بازیکنان در تخصیص اولیه آب بر اساس حقآبه تاریخی محاسبه گردید. در گام بعدی، به محاسبه سود بازیکنان بر اساس سناریوی تعریف شده در حوضه پرداخته شد. سپس با توجه به مقادیر سود بدست آمده در دو حالت قبل و بعد از سناریو، به تحلیل رفتار بازیکنان در حوضه با استفاده از شاخص‌های پایداری گردید. هم‌چنین در نهایت به بحث و جمع‌بندی حاصل از نتایج به‌دست آمده در این مطالعه پرداخته شد.

۲-۱- تخصیص اولیه آب

تخصیص اولیه آب با توجه به حقآبه موجود بین بازیکنان صورت می‌پذیرد. استفاده از مدل بهینه‌سازی می‌تواند ابزار مناسبی برای تخصیص بهینه آب بر اساس حقآبه بازیکنان جهت ماکزیمم کردن سود حاصل از آب مصرفی با در نظر گرفتن قیدها و محدودیت‌های سیستم باشد. مدل حوضه آبریز رودخانه مشترک هریرود، یک مدل بهینه‌سازی خطی است که با هدف بیشینه کردن سود خالص ناشی از مصرف آب در بخش کشاورزی در رودخانه مشترک هریرود، در محیط نرم‌افزار LINGO توسعه داده شده است. در این مطالعه با توجه به این‌که از میان سه بخش کشاورزی، صنعت و شرب، سهم کشاورزی در مصرف منابع آب موجود در حوضه نسبت به سایر بخش‌ها بیشتر می‌باشد، تنها تأمین مصارف این بخش در مدل بهینه‌سازی در نظر گرفته شد. بنابراین، منظور از سود خالص، کل سود حاصل از مصرف آب در بخش کشاورزی منهای هزینه‌های مربوط به تولید است. تابع هدف و قیدهای اصلی تخصیص اولیه آب مطابق مدل زیر می‌باشد:

$$\text{Maximize } Z = \sum_{i=1}^{2}\sum_{t=1}^{12}\sum_{p=1}^{10}\left(V_{i,t,p}, CPD_{i,p}, P_{i,p}\right) \quad (۱)$$

Subject to:

$$V_{i,t,p} \le \alpha_{i,p} . A_i . D_{i,t,p} \quad (۲)$$

$$\sum_{t=1}^{12}\sum_{p=1}^{10} V_{1,t,p} = V_1 \quad (۳)$$

$$\sum_{t=1}^{12}\sum_{p=1}^{10} V_{2,t,p} = V_2 \quad (۴)$$

$$\sum V_1 + V_2 = V_{total} \quad (۵)$$

که، Z در معادله ۱ سود خالص بدست آمده در بخش کشاورزی بر حسب ریال می‌باشد. بر اساس این معادله $V_{i,t,p}$ مقدار آب تخصیص یافته شده بر حسب متر مکعب به بازیکن i در ماه t به محصول p می‌باشد. $CPD_{i,p}$ عملکرد محصول $(\frac{Kg}{m^3})$ به ازای واحد آب مصرفی برای بازیکن i و محصول p می‌باشد. $P_{i,p}$ قیمت محصول p بر حسب ریال برای بازیکن i می‌باشد. در معادله ۲ میزان حجم آب تخصیص یافته بر حسب متر مکعب به مصارف کشاورزی برای هر بازیکن تعیین می‌شود. بر اساس این معادله، $\alpha_{i,p}$ درصد سطح زیر کشت محصول p رای بازیکن i و A_i سطح کل زیر کشت محصولات بر حسب هکتار برای بازیکن i می‌باشد. $D_{i,t,p}$ نیاز آبی محصول p در ماه t برای بازیکن i بر حسب متر مکعب بر هکتار می‌باشد. در نهایت معادله ۳، ۴ و ۵ قیدهای پیوستگی حجم آب در مدل می‌باشند. بر این اساس،

V_{total} میزان کل آورد آب رودخانه باید برابر با مجموع $V_{i,t,p}$ حجم آب تخصیص یافته به بازیکنان باشد.

۲-۲- سناریوی غیرهمکارانه

در مدل بهینه‌سازی بازی غیرهمکارانه با در نظر گرفتن سناریوی احتمالی که از سوی دولت افغانستان اعمال می‌شود به بررسی و تحلیل نتایج پرداخته خواهد شد. کشور ایران در مواجهه با سناریوی پیش‌آمده از سوی دولت افغانستان دو راه‌حل ایجاد جبران انگیزشی برای ایجاد همکاری و منصرف کردن دولت افغانستان از اجرای برنامه خود و یا پذیرفتن سناریوی پیش‌آمده و تغییر در رویکرد مدیریتی خود در داخل کشور را دارد. در این مطالعه مقدار جبران انگیزشی ایران به افغانستان به‌طور تقریبی برابر با ۵۰ درصد ضرر اقتصادی‌ای که ایران به‌دلیل کاهش جریان آب نسبت به پیش از آن تجربه می‌کند، فرض شده است. در مدل بهینه‌سازی با توجه به عدم دسترسی به اطلاعات و نیز محدودیت این تحقیق، از محاسبه مقادیر سود در دو بخش صنعت و شرب در تابع هدف صرف نظر گردید. همچنین در مطالعه حاضر در بخش کشاورزی از مفهوم "ارزش جریان آب" استفاده گردید. بر طبق این مفهوم، کل ارزش حاصل از آب در یک نقطه خاص از رودخانه (منهای نیاز زیست محیطی) برابر با کل ارزش تولید محصولات از آن نقطه تا پایین‌دست می‌باشد. میزان جبران انگیزشی ایران به افغانستان در سناریوی تعریف شده به‌صورت زیر در رابطه ۶ ملاحظه می‌شود:

$$G_{AF}=\frac{1}{2}[\sum_{P=1}^{10}(V_2^{'}\times CPD_{2,p}\times P_{2,p})-\sum_{P=1}^{10}(V_2\times CPD_{2,p}\times P_{2,p})] \qquad (۶)$$

در معادله ۶، میزان جبران انگیزشی ایران به افغانستان بر اساس فرض صورت گرفته ملاحظه می‌شود. در این تحقیق مشارکت ترکمنستان در مقدار جبران انگیزشی فرض نشده است. بر اساس این معادله، V_2 حجم آب دریافتی ایران پیش از رویکرد غیرهمکارانه از طرف افغانستان می‌باشد. $CPD_{2,p}$ عملکرد محصول p بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب برای کشور ایران می‌باشد. $P_{2,p}$ قیمت محصول p در حوضه کشور ایران بر حسب ریال می‌باشد. $V_2^{'}$ حجم آب دریافتی ایران در رویکرد همکارانه از طرف کشور افغانستان می‌باشد.

۲-۳- شاخص‌های پایداری

- روش Nash Stability

وضعیت s حالت تعادل نش برای بازیکن i است، اگر و تنـــها اگر هیچ پیشرفت یک‌جانبه‌ای برای بازیکن i در وضعیت k وجود نداشته باشد. به معنای دیگر، اگر بازیکن i نتواند به موقعیت بهتری با تغییر تصمیم خود برسد، با توجه به تصمیمات حریفان، او انگیزه‌ای برای حرکت به موقعیت s ندارد. اگر وضعیت s تعادل نش برای همه بازیکنان باشد (هیچ بازیکنی با تغییر تصمیم خود به وضعیت بهتری نمی‌رسد)، وضعیت s، تعادل نش در بازی می‌باشد (Nash, 1951).

- روش GMR

در این دیدگاه برخلاف روش تعادل Nash امکان تغییر انتخاب برای بازیکنان وجود دارد؛ اما هم‌چنان اطلاعات کافی از عملکرد مدعیان برای یکدیگر وجود ندارد. در این روش هر مدعی می‌تواند دو انتخاب داشته باشد، در صورتی‌که در روش نش تنها یک انتخاب امکان‌پذیر می‌باشد.

در روش GMR برای بازیکن i وضعیت s پایدار می‌باشد، اگر و تنها اگر تمام حرکات یک‌جانبه بازیکن i از s بتواند توسط حرکات بازیکن j به سمت وضعیت بهتر یا بدتر بسته شود. به‌طوری که در پاسخ به حرکت بازیکن i از s به x، بازیکن j ممکن است با حرکت به وضعیت z دچار ضرر به خود و یا هردو بازیکن بشود. بنابراین، نتیجه وضعیت z می‌تواند هم بهتر و هم بدتر از وضعیت x برای بازیکن j باشد، اما به‌طور قطعی نتیجه بدتری برای بازیکن i خواهد داشت. به‌عنوان مثال، بازیکن i ترجیح به تغییر استراتژی خود به وضعیت s نمی‌دهد، بنابراین s پایدار GMR برای بازیکن i می‌باشد. اگر وضعیت داده شده برای همه بازیکنان در بازی پایدار باشد، این وضعیت تعادل GMR نامیده می‌شود (Howard, 1971).

تعریف پایداری GMR تنها برای بازی‌هایی با حداقل دو حرکت برای هر بازیکن قابل استفاده می‌باشد. در این روش بازیکن فرض می‌کند که در پاسخ به تصمیمات خود، ممکن است حتی حریفان به جهت جلوگیری از این حرکت به خودشان آسیب برسانند. همانند روش GMR، حالت SMR نیز برای بازی‌هایی که بازیکنان حق بیشتر از یک حرکت را دارند مناسب می‌باشد (Howard, 1971).

- روش SMR

روش SMR مشابه و زیرمجموعه‌ای از روش GMR می‌باشد با این تفاوت که در این روش بینش مدعیان در انتخاب گزینه‌ها وسیع‌تر می‌باشد و با در نظر گرفتن رفتار دیگر مدعیان عمل می‌کنند. از مزایای این روش آن است که هر مدعی می‌تواند با سه حرکت گزینه مورد نظر خود را انتخاب کند. این مسأله بدان معنا است که این امکان وجود ندارد که بازیکنی بتواند در انتخاب آخر خود با حرکت یک جانبه پیامد خود را ارتقاء دهد.

در روش SMR وضعیت s پایدار می‌باشد اگر بازیکن i حرکت یک‌جانبه‌ای از وضعیت S نداشته باشد. بنابراین تعادل نش هم‌چنین می‌تواند تعادل SMR نیز باشد. روش SMR دارای یک تعریف محدود کننده‌تر نسبت به GMR می‌باشد و به همین علت یک زیر مجموعه از GMR می‌باشد. روش SMR مشابه روش GMR می‌باشد، با این تفاوت که بازیکن i نه‌تنها تمام حرکات خود را در نظر می‌گیرد، بلکه واکنش‌های احتمالی بازیکن j را هم نیز در نظر می‌گیرد. بازیکن در SMR دارای افق سه حرکت می‌باشد و می‌تواند پیش‌بینی کند که مناقشه پس از واکنش خود به پایان برسد. بازیکن در SMR بسیار محافظه کار است و پیش‌بینی بیشتری نسبت به یک بازیکن در روش GMR دارد (Howard, 1971).

- روش SEQ

روش SEQ نیز همانند روش GMR و SMR می‌باشد با این تفاوت که در این روش ریسک‌پذیری مدعی بیشتر از دو روش ذکر شده می‌باشد. در این روش اطلاعات لازم از عملکرد دیگران برای بازیکن مورد نظر موجود است و تعداد انتخابات به دو حرکت محدود می‌شود (Fraser and Hipel, 1979).

- روش Limited-Move Stability

پایه و مفهوم روش Limited Move Stability بدین صورت می‌باشد که بازیکن i می‌تواند یک دنباله از حرکات و ضد حرکات برای افقی به طول h تصور کند. در این تعادل وضعیت پایدار Lh برای بازیکن i می‌باشد هنگامی که آن در افق h وضعیت پایدار پیدا کند. این روش نسبت به دیگر روش‌های ذکر شده منطقی‌تر و به واقعیت نزدیک‌تر می‌باشد و کلیه محدودیت‌های آن‌ها را پوشش می‌دهد. در این روش مدعیان با بینش کامل تصمیم‌گیری می‌کنند و تعداد حرکات و عکس‌العمل‌ها به انتخاب یکدیگر نامحدود و کلیه گام‌های تصمیم‌گیری در قالب یک چرخه می‌باشد تا حالت پایدار برقرار شود (Zagare, 1984; Kilgour, 1987).

در رویکرد بازی غیرهمکارانه، فرض بر این است که هر بازیکن اصل منطقی بودن را در انتخاب استراتژی خود رعایت کند. بدین صورت که انتخاب استراتژی‌ها با هدف بیشینه کردن منافع شخصی هر بازیکن دنبال گردد (Madani and Hipel, 2011). مفهوم راه‌حل نش از رایج‌ترین مفاهیم پایداری در نظریه بازی‌های غیر همکارانه می‌باشد. پایه و اصول تعادل نش بر این است که بازیکن فقط می‌تواند در طول بازی یک تصمیم یا استراتژی داشته باشد. به دلیل این‌که بازیکنان در زمان تصمیم‌گیری، عکس‌العمل دیگر رقبا را نسبت به عملکرد خود در نظر می‌گیرند، این نوع پاسخ از بازیکنان ممکن است مقداری دور از رفتار بازیکنان در واقعیت باشد. بنابراین تعریف تعادل نش اغلب با شکست برای پیش‌بینی دقیق درگیری هنگام تعارض واقعی مواجه می‌شود. بنابراین تنها از روش تعادل نش نمی‌توان یک مسأله را به‌طور کامل پوشش داد و می‌توان با استفاده از دیگر روش‌ها در بهبود تعادل در نظریه بازی‌های غیرهمکارانه استفاده کرد. برای بهبود مفهوم تعادل نش می‌توان از دیگر تعاریف پیشنهاد داده شده استفاده کرد، که در آن یک بازیکن تلاش می‌کند تا در پاسخ به حرکت‌های یک جانبه خود، ضد حرکت‌های حریف خود را پیش‌بینی کند. بنابراین در این مطالعه به عنوان مکمل تعادل نش، جهت بهبود نتایج و کارایی حل اختلاف، از روش‌های GMR، SMR، SEQ، Limited-Move Stability استفاده می‌شود.

۳- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه کشف‌رود- هریرود یا حوضه آبریز قره‌قوم در منتهی‌الیه شمال شرقی ایران در مجاورت مرز کشورهای افغانستان و ترکمنستان قرار گرفته است. به‌طور کلی مساحت کل حوضه آبریز هریرود ۸۴۳۸۷ کیلومترمربع می‌باشد که با توجه به اطلاعات سازمان جهانی فائو، ۴۵ درصد آن در خاک افغانستان، ۳۵ درصد در خاک ایران و ۲۰ درصد در ترکمنستان می‌باشد. رودخانه هریرود به‌طول ۱۰۵۰ کیلومتر از افغانستان سرچشمه می‌گیرد و مرز ایران- افغانستان و ایران- ترکمنستان را می‌سازد و سپس از سرخس وارد خاک ترکمنستان می‌شود. این رود پرآب‌ترین رود مشترک بین ایران و ترکمنستان است. بر اساس اطلاعات منتشر شده توسط سازمان جهانی فائو، میانگین جریان ورودی به مرز ایران توسط این رودخانه برابر با حدود یک میلیارد متر مکعب در سال می‌باشد (FAO, 2012).

با توجه به شکل ۱ موقعیت سه کشور ایران، افغانستان و ترکمنستان در حوضه مشترک رودخانه هریرود ملاحظه می‌شود که در آن کشور افغانستان بالادست می‌باشد. در افغانستان ۹۰ درصد از منابع آب‌های سطحی وابسته به رودخانه‌های مرزی می‌باشد (Thomas and Warner, 2015). از همین جهت مهار آب‌های سطحی برای این کشور اهمیت مضاعف پیدا کرده است.

در جدول ۱ الگوی کشت دو کشور ایران و افغانستان ملاحظه می‌شود.

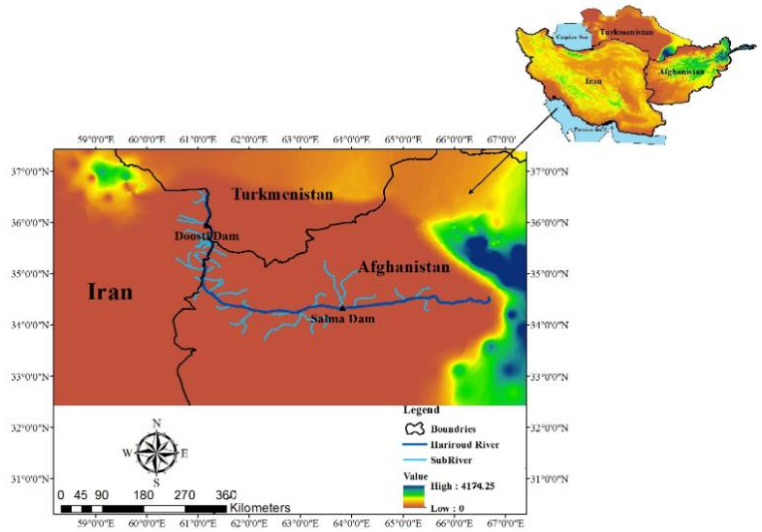

Fig. 1- Harirud shared basin among Iran, Afghanistan and Turkmenistan

شکل ۱- موقعیت سه کشور ایران، افغانستان و ترکمنستان در حوضه رودخانه مشترک هریرود

Table 1- The crop pattern in Harirud Basin (%)

جدول ۱- الگوی کشت در حوضه هریرود (٪) (Toossab Consulting Company, 2011; FAO, 2012)

Crop type	Wheat	Barley	Sugar beet	Cotton	Cucurbits	Alfalfa	Corn	Rice	Other
Iran	34	18.7	1.3	24.2	9.2	4.2	2.9	-	5.5
Afghanistan	34	-	-	21	-	-	-	45	-
Turkminestan	60	-	1.25	37	-	-	-	1.25	-

Table 2- The water demands for agricultural sector in Harirud basin (MCM/month)

جدول ۲- نیاز آبی بخش کشاورزی بر حسب میلیون مترکعب در ماه در حوضه هریرود

(Toossab Consulting Company, 2011; FAO, 2012)

Month	Iran agricultural sector	Afghanistan agricultural sector	Turkmanistan agricultural sector
October	11.55	21.94	13.80
November	5	4.40	2.78
December	2.03	2.27	0
January	4	4.40	2.78
February	9	11	6.95
March	62.40	65.26	38.92
April	95.15	177.81	70.12
May	98.95	195.30	82.90
June	106.47	214.90	71.32
July	76.80	213	70.20
August	52.85	132.81	49.80
September	4	0	0.75
Toatal (MCM/Y)	**528**	**1043**	**410**

بر این اساس سطح زیر کشت ایران برای الگوی کشت در حوضه نزدیک به ۳۲۰۰۰ هکتار برآورد گردیده است. کشور افغانستان دارای پنج حوضه اصلی می‌باشد که رودخانه هریرود در حوضه هریرود- مرغاب قرار گرفته است. مساحت سطح زیر کشت حوضه هریرود در افغانستان با در نظر گرفتن اهداف ساخت و بهره‌برداری سد سلما به طور متوسط ۷۰۰۰۰ هکتار جهت آبیاری اراضی کشاورزی درنظر گرفته شد. بر طبق گزارشات سازمان فائو عمده محصولات کشاورزی کشت شده در این حوضه شامل پنبه، برنج و گندم می‌باشد (FAO, 2012).

۴- نتایج و تحلیل نتایج

در این قسمت به تحلیل نتایج حاصل از سناریو مطرح شده در حوضه مشترک هریرود پرداخته می‌شود. در شکل ۲ نتایج حاصل از تخصیص اولیه آب با هدف بازتوزیع آب بر اساس متوسط آورد رودخانه مشاهده می‌شود. در این گام تخصیص‌های اولیه عادلانه آب با استفاده از مدل بهینه‌سازی شرح داده شده در بخش ۲-۱ به منزله سهم اولیه یا همان حقآبه تاریخی هر کشور به‌دست آورده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، با توجه به نتایج مدل بهینه‌سازی، ایران به‌دلیل راندمان بالاتر در عملکرد محصولات کشاورزی و هم‌چنین ارزش اقتصادی بالاتر محصولات، دارای سود بیشتری در مقایسه با دو کشور همسایه رودخانه مشترک هریرود به مقدار ۷/۸ میلیون دلار می‌باشد. هم‌چنین مقادیر سود خالص به‌دست آمده در حوضه برای کشور افغانستان ۲/۶ میلیون دلار و برای ترکمنستان ۲ میلیون دلار می‌باشد. با توجه به وجود معاهده حقوقی در تقسیم آب رودخانه مشترک هریرود بین دو کشور ایران و ترکمنستان، رفتار غیرهمکارانه در تقسیم آب این رودخانه بین این دو کشور نمی‌تواند رخ بدهد. بنابراین بازی می‌تواند بین ایران و افغانستان و یا افغانستان و ترکمنستان باشد. لذا با توجه نیاز آبی شدید در شرق کشور و بحران آبی پیش رو در منطقه نیز محدودیت این تحقیق، بازی بین ایران و افغانستان جهت تحلیل سناریوی تعریف شده انتخاب شد. در سناریوی مطرح شده به بررسی کاهش جریان ورودی به پایین دست به‌دلیل بهره‌برداری یک‌طرفه دولت افغانستان از سد سلما پرداخته شده است. بر این اساس، با توجه به احداث سد ۶۵۰ میلیون متر مکعبی سلما در بالادست رودخانه، پایین دست آن با کاهش شدید جریان آب مواجه خواهد شد. یکی از دلایل مهم این کاهش جریان آب می‌تواند رژیم سیلابی رودخانه باشد که با توجه به احداث این سد، در پشت آن ذخیره می‌شود. با توجه به سیاست‌های دولت افغانستان و تهدیدهای علنی با بهره‌برداری از سد سلما و تنظیم سیلاب‌ها، بخش عمده‌ای از اراضی دیم و آیش موجود به کشت آبی تبدیل شده و به تبع آن نیاز آبی افزایش پیدا کرده و احتمال انجام این حرکت بیشتر خواهد شد. در این حالت افغانستان بر روی توسعه کشاورزی تأکید خواهد داشت. همچنین مقدار جبران انگیزشی ایران به افغانستان بر اساس مدل تعریف شده در سناریو مبلغ ۱/۷ میلیون دلار می‌باشد.

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، هر سلول نشان‌دهنده مقادیر سود برای کشورها می‌باشد. هر یک از دو بازیکن ایران و افغانستان از نظر بحث مدیریتی دو گزینه پیش روی خود دارند. به‌طوری که کشور افغانستان می‌تواند در وضعیت فعلی خود باقی بماند یا بر طبق سناریو اقدام به بهره‌برداری یک‌طرفه از سد سلما نماید. هم‌چنین کشور ایران دارای دو گزینه ارائه‌ی جبران انگیزشی برای ایجاد همکاری و صرف نظر کردن افغانستان از اجرای برنامه‌های خود، یا مواجه شدن با کاهش جریان آب می‌باشد. در ادامه جهت بررسی کاربردی‌تر و قابل قیاس‌تر مقادیر سودها، جدول ۳ (ب) به‌صورت مقادیر در مقیاس ۱-۰ نیز آورده شده است، به‌طوری که مقدار ۰ برابر با بدترین حالت در بین گزینه‌ها و مقدار ۱ بهترین حالت می‌باشد و مقادیر بین این دو عدد به همین ترتیب به‌طور نسبی بیان کننده بهترین و بدترین حالت نیز می‌باشند.

- تعادل Nash

در این بازی، کشور ایران در حالت استراتژی (A) با دو حالت جبران انگیزشی و عدم جبران انگیزشی روبرو می‌باشد که به ترتیب دارای مقادیر سود ۶/۱ و ۷/۸ میلیون دلار می‌باشند. در این حالت بر اساس راه‌حل نش تعادل به‌دلیل سود دریافتی بیشتر سمت عدد ۷/۸ میلیون دلار می‌رود. هم‌چنین در حالت استراتژی (B) مقادیر سود برای دو حالت جبران انگیزشی و عدم جبران انگیزشی برای ایران به‌ترتیب ۲/۷ و ۴/۴ میلیون دلار می‌باشد.

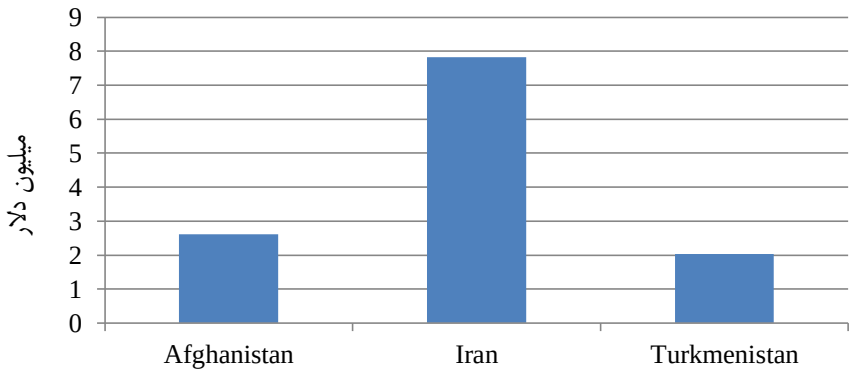

Fig. 2- The net profit of players based on historical water right in Harirud Basi (Million Dollars)
شکل ۲- سود خالص بازیکنان بر اساس حقآبه تاریخی در حوضه هریرود (میلیون دلار)

Table 3- Matrix results of profit values (Millon Dollars)

جدول ۳- ماتریس نتایج مقادیر سود (میلیون دلار)

	Iran		Afghanistan	
	Current situation (A)		Exploitation of Salma dam (B)	
Motivational Compensation (1)	6.1	4.3	2.7	6.3
Non-Motivational Compensation (2)	7.8	2.6	4.4	4.3

(الف)

Motivational Compensation (1)	0.67	0.46	0	1
Non-Motivational Compensation (2)	1	0	0.33	0.54

(ب)

در این حالت تعادل نش مقدار ۴/۴ میلیون دلار نیز می‌باشد. کشور افغانستان به عنوان دیگر بازیکن این بازی با دو استراتژی (۱) و (۲) از طرف ایران روبرو می‌باشد. افغانستان در حالت استراتژی (۱) دارای دو گزینه انتخاب شرایط فعلی و بهره‌برداری یک‌طرفه از سد سلما می‌باشد. در این حالت مقادیر سود به‌ترتیب ۴/۳ و ۶/۳ میلیون دلار می‌باشد. بر اساس مفهوم نظریه نش مقدار ۶/۳ میلیون دلار دارای تعادل می‌باشد. در حالت استراتژی (۲) سود افغانستان مانند حالت قبل به ترتیب دارای مقادیر ۲/۶ و ۴/۳ میلیون دلار می‌باشد و تعادل نش در این حالت به‌دلیل سود بیشتر مقدار ۴/۳ میلیون دلار می‌باشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود حالت (B-2) دارای تعادل کل نش می‌باشد.

- تعادل GMR

در روش تعادل نش ملاحظه گردید حالت (B-2) دارای تعادل نش می‌باشد. این حالت به‌عنوان یک رفتار غیرهمکارانه از دو کشور ارزیابی می‌شود. با توجه به این‌که تعادل نش زیرمجموعه دیگر تعادل‌ها می‌باشد، بنابراین یکی از تعادل‌های GMR نیز وضعیت (B-2) می‌باشد. جهت بررسی دیگر تعادل GMR وضعیت (A-1) را دارای تعادل برای بازیکن ایران درنظر می‌گیریم. در این حالت کشور ایران تمایل دارد تا با تغییر وضعیت خود از جبران انگیزشی (۱) به وضعیت عدم جبران انگیزشی (۲) به حالت (A-2) برود. از طرف دیگر، بازیکن افغانستان در پاسخ به رفتار ایران وضعیت خود را از (A-1) به (B-1) با تغییر استراتژی خود از حالت (A) به (B) تغییر می‌دهد و با این حرکت تعادل به سمت وضعیت (B-2) می‌رود و بازیکن افغانستان در استراتژی بهره‌برداری یک‌طرفه از سد سلما و بازیکن ایران استراتژی عدم جبران انگیزشی را انتخاب می‌کند.

تعادل SMR شبیه به GMR می‌باشد با این تفاوت که بصیرت بازیکنان در این تعادل بیشتر می‌باشد و هم‌چنین تعداد حرکات بازیکنان به ۳ حرکت محدود می‌شود. برای بررسی تعادل SMR این بازی ابتدا وضعیت (A-1) را دارای تعادل برای بازیکن ایران در نظر می‌گیریم. کشور ایران نیز همانند بازی قبل تمایل دارد جهت افزایش سود، استراتژی خود را تغییر دهد و به وضعیت (A-2) برود. هم‌چنین بازیکن افغانستان جهت پاسخ به حرکت ایران، استراتژی خود را برای افزایش سود به (B-1) تغییر می‌دهد، با این حرکت بازیکنان در وضعیت (B-2) قرار می‌گیرند. در این حالت بازیکن ایران تنها می‌تواند استراتژی خود را از حالت (۲) به (۱) تغییر دهد و با توجه به این‌که افغانستان استراتژی خود را تغییر نمی‌دهد، بنابراین بازیکن ایران وارد وضعیت (B-1) می‌شود. از آن‌جایی که این وضعیت برای ایران ایده‌آل نیست، بنابراین ایران از حالت تعادل (A-1) خارج نمی‌شود و این حالت تعادل SMR برای بازیکن ایران می‌باشد. با استدلال مشابه می‌توان دریافت که بازیکن افغانستان وضعیت (B-2) را کمتر نسبت به وضعیت (A-1) ترجیح می‌دهد و می‌تواند استراتژی خود را از حالت (B) به حالت (A) تغییر دهد و با توجه به این‌که ایران در استراتژی (B-2) قرار دارد، بنابراین افغانستان با تغییر استراتژی خود در وضعیت (A-2) قرار می‌گیرد که بیشترین ضرر را متحمل خواهد شد. بنابراین افغانستان نیز با آگاهی از این موضوع وضعیت (A-1) را به عنوان تعادل SMR خود انتخاب می‌کند. با توجه به این‌که هر دو کشور در حالت (A-1) دارای تعادل هستند، در نتیجه این حالت دارای تعادل SMR کل می‌باشد. هم‌چنین دیگر تعادل این بازی نیز حالت (B-2) می‌باشد که در بحث تعادل نش مورد بررسی قرار گرفت.

- تعادل SEQ

روش SEQ نیز همانند روش GMR و SMR می‌باشد با این تفاوت که در این روش ریسک‌پذیری مدعی بیشتر از دو روش ذکر شده است در صورتی‌که اطلاعات لازمه از عملکرد دیگران برای بازیکن مورد نظر موجود است و تعداد انتخابات به دو حرکت محدود می‌شود.

با توجه به حرکت یک‌طرفه ایران از وضعیت (A-1) به (A-2) با تغییر استراتژی خود از حالت (۱) به (۲) و به‌طور متقابل افغانستان وضعیت خود را از استراتژی (A) به (B) تغییر می‌دهد و بازیکنان وارد وضعیت

(B-2) می‌شوند. به‌دلیل این‌که وضعیت (B-2) نسبت به (A-1) به‌دلیل پایین‌تر بودن سود برای بازیکنان کمتر ترجیح داده می‌شود، حالت (A-1) تعادل SEQ برای ایران می‌شود. با استدال مشابه حالت (A-1) برای افغانستان نیز به‌دلیل سود بیشتر تعادل SEQ می‌شود. در نتیجه در کنار وضعیت (B-2) که یکی از تعادل‌های این بازی می‌باشد، وضعیت (A-1) نیز دیگر تعادل این بازی می‌باشد.

- روش Limited-Move Stability

این روش نسبت به روش‌های ذکر شده منطقی‌تر و به واقعیت نزدیک‌تر می‌باشد و کلیه محدودیت‌های آن‌ها را پوشش می‌دهد. در این روش مدعیان با بینش کامل تصمیم‌گیری می‌کنند و تعداد حرکات و عکس‌العمل‌ها به انتخاب یک‌دیگر نامحدود و کلیه گام‌های تصمیم‌گیری در قالب یک چرخه می‌باشد تا حالت پایدار برقرار شود.

در بازی بین ایران و افغانستان چنان‌چه حالت (A-1) نقطه شروع بازی فرض شود، ایران می‌تواند استراتژی خود را به وضعیت (A-2) تغییر دهد یا در همان وضعیت بماند. در مقابل افغانستان نیز می‌تواند این وضعیت را قبول کند یا بازی را به وضعیت (B-2) تغییر دهد و به‌طور مجدد ایران می‌تواند در وضعیت (B-2) بماند یا انتخاب خود را تغییر دهد. برای بررسی حالت پایدار می‌توان از حالت (B-2) به‌صورت معکوس پیش رفت. مشاهده می‌شود که ایران در حالت آخر گزینه (B-2) را به (B-1) ترجیح داده و در وضعیت (B-2) باقی می‌ماند. چنان‌چه یک گام به عقب برگشت داده شود، افغانستان تمایل دارد در حالت (B-2) بماند تا بخواهد استراتژی (A-2) را انتخاب کند و در گام دیگر که به عقب برگشت داده شود، حالت (A-1) نسبت به حالت (B-2) ارجحیت دارد به همین جهت وضعیت (A-1) جواب سه حرکته روش Limited-Move Stability نیز می‌باشد.

بر اساس نتایج حاصل از روش‌های پایداری، شامل تعادل Nash، GMR، SMR، SEQ و Limited-Move Stability مشاهده می‌شود وضعیت سناریو غیرهمکارانه بهره‌برداری یک‌طرفه از سد سلما در دو حالت دارای پایداری می‌باشد. در بررسی حالت تعادل اول مشاهده می‌شود رفتار بازیکنان به‌صورت کاملاً غیرهمکارانه می‌باشد. در این حالت تعادل بازی به سمت وضعیت (B-2) می‌رود و سود کشور ایران و افغانستان به‌ترتیب ۴/۴ و ۴/۳ میلیون دلار می‌باشد. هم‌چنین در حالت تعادل دوم بازی مشاهده می‌شود بازیکنان در وضعیت (A-1) دارای تعادل می‌باشند. در این حالت باتوجه به مبلغ جبران انگیزشی‌ای که ایران به افغانستان می‌دهد رفتار بازیکنان از حالت غیرهمکارانه به همکارانه تبدیل می‌شود. سود کشور ایران و افغانستان در این حالت به‌ترتیب ۶/۱ میلیون دلار و ۴/۳ میلیون دلار می‌باشد. با مقایسه حالت تعادل (A-1) با حالت (B-2) مشاهده می‌شود که سود هر دو کشور افزایش پیدا می‌کند.

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود پیش از اقدام کشور افغانستان به رویکرد غیرهمکارانه، سود کشور ایران در وضعیت (A-2) مقدار ۷/۸ میلیون دلار می‌باشد. در حالت غیرهمکارانه (B-2) مشاهده می‌شود سود ایران به ۴/۴ میلیون دلار کاهش پیدا می‌کند. در این وضعیت براساس نتایج مدل بهینه‌سازی سطح زیر کشت ایران از ۲۲۵۰۰ هکتار به ۱۴۰۰۰ هکتار کاهش پیدا خواهد کرد و در حدود ۹۰۰۰ از اراضی کشاورزی این دشت تحت تاثیر قرار خواهد گرفت. شکل ۴ وضعیت سود هر یک از بازیکنان در استراتژی‌های مختلف را نشان می‌دهد.

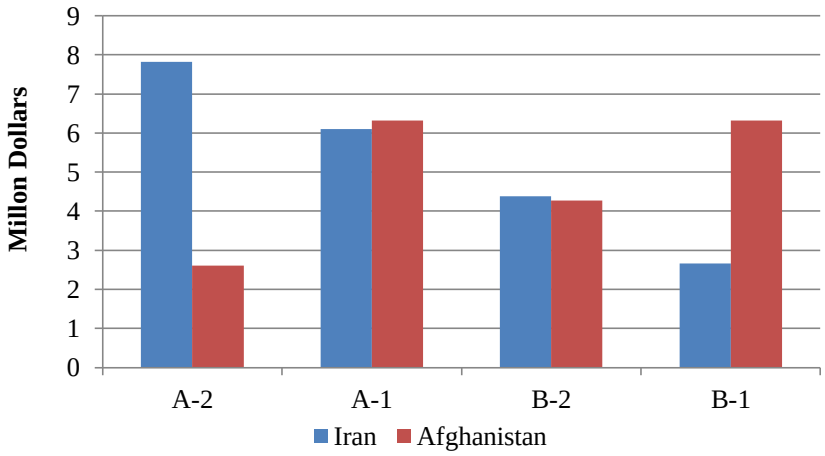

Fig. 3- The status of players' profit in a non-cooperative strategy
شکل ۳- وضعیت سود بازیکنان در استراتژی غیرهمکارانه

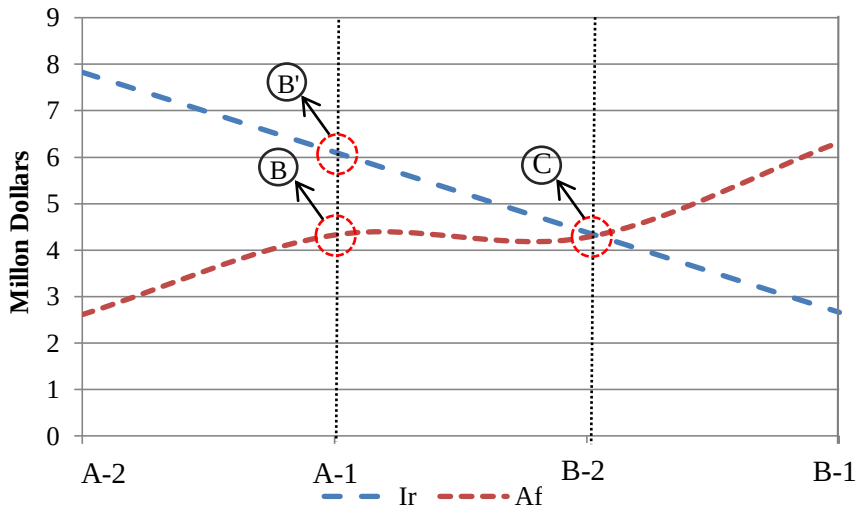

Fig. 4- The Analysis of the players' profit status in the scenario

شکل ۴- تحلیل وضعیت سود بازیکنان در سناریو

همان‌طور که ملاحظه می‌شود سود ایران در استراتژی (A-2) بیشترین مقدار و در حالت (B-1) کمترین مقدار را دارد. هم‌چنین افغانستان در استراتژی (A-2) دارای کمترین سود و در حالت (B-1) بیشترین سود را در بین دیگر استراتژی‌های موجود دارد. با توجه به نمودار مشاهده می‌شود دو خط سود ایران و افغانستان در نقطه C یکدیگر را قطع می‌کنند. در این نقطه سود ایران و افغانستان برابر می‌باشد. بر اساس تحلیل‌های انجام شده در بحث تعادل‌ها، این نقطه که در وضعیت (B-2) قرار دارد دارای تعادل نش می‌باشد، در این حالت اگر بازیکنی استراتژی خود را تغییر دهد بر طبق اصل این تعادل دچار زیان نخواهد شد. اگر در شکل ۴ از وضعیت B-2 به وضعیت A-1 تغییر استراتژی داده شود، ملاحظه می‌شود که نطقه B دارای بهینه پارتو می‌باشد. بهینه پارتو یک تغییر برای تخصیص متفاوت است که حداقل وضعیت یک بازیکن بهتر شود بدون این‌که وضعیت دیگر بازیکنان بدتر شود. در نقطه B ملاحظه می‌گردد سود کشور افغانستان نسبت به حالت C از مقدار ۴/۳ میلیون دلار به ۴/۴ میلیون دلار افزایش می‌یابد. از طرفی سود ایران از مقدار ۴/۴ میلیون دلار در نقطه C به ۶۱ میلیون دلار در نقطه B افزایش پیدا خواهد کرد. در نتیجه نقطه B دارای بهینه پارتو نیز می‌باشد.

۵- خلاصه و جمع‌بندی

بر اساس تحلیل‌های انجام شده، کاهش جریان آب رودخانه هریرود بر روی ایران اثرات منفی قابل‌توجهی خواهد داشت. حوضه آبریز قره‌قوم که دشت سرخس در آن می‌باشد همواره به‌خاطر دور بودن از منابع آب سطحی با کمبود آب مواجه بوده است. از همین جهت کاهش جریان آب رودخانه هریرود، باعث استفاده بیشتر از حد منابع آب زیرزمینی دشت سرخس جهت تأمین حداقل نیازهای آبی کشاورزی خواهد شد. در جدول ۴ به جمع‌بندی وضعیت تحلیل پایداری در تعادل‌های مختلف پرداخته شد.

Table 4- The Summary of stability analysis in different equilibria

جدول ۴- جمع‌بندی وضعیت تحلیل پایداری در تعادل‌های مختلف

Strategy	A-1		B-1		A-2		B-2	
Players	IR	AF	IR	AF	IR	AF	IR	AF
Nash	-	-	-	✓	✓	-	✓	✓
GMR	✓	✓	-	✓	✓	-	✓	✓
SMR	✓	✓	-	✓	✓	-	✓	✓
SEQ	✓	✓	-	✓	✓	-	✓	✓
Limited-Move Stability	✓	✓	-	✓	✓	-	-	-

نتایج نشان می‌دهند، تعادل نش به‌دلیل این‌که بازیکنان اطلاعات کافی از یکدیگر ندارند و امکان تغییر انتخاب برای رسیدن به حالت مطلوب‌تر وجود ندارد، لذا انتخاب بدون ریسک به یک گزینه محدود می‌شود. اما در روش‌های دیگر، بازیکنان می‌توانند از بصیرت بالاتری در انتخاب‌های خود برخوردار باشند. از همین جهت ملاحظه می‌شود، بازی دارای تعادل‌های دیگر نیز می‌باشد و علاوه بر وضعیت (B-2)، وضعیت (A-1) نیز دیگر تعادل بازی می‌باشد. این موضوع نشان‌دهنده نقش مؤثر دیپلماسی آب بین بازیکنان در حل چالش‌های موجود در حوضه می‌باشد. در ادامه بررسی‌های صورت گرفته شده، نشان داده شد که ایران با پرداخت جبران انگیزشی به افغانستان می‌تواند از نظر فنی تعادل را از حالت غیرهمکارانه به همکارانه تغییر دهد. به‌طوری که مطابق شکل ۴ حالت بهینه پارتو در بازی اثبات شد و نشان داده شد که ایران با پرداخت جبران انگیزشی ۱/۷ میلیون دلار می‌تواند تعادل بازی را از حالت غیرهمکارانه به همکارانه تغییر دهد. طبق حالت بهینه پارتو، ایران می‌تواند با جبران انگیزشی ذکر شده سود خود را در بازی افزایش دهد درحالی که سود افغانستان کاهش پیدا نکند.

همان‌طور که از نتایج مطالعه ملاحظه شد، رفتار غیرهمکارانه افغانستان در حوضه می‌تواند باعث کاهش قابل توجه آب دریافتی به ایران در پایین‌دست شود. نتایج نشان می‌دهد که ایران با پرداخت جبران انگیزشی به افغانستان می‌تواند از نظر فنی تعادل را از حالت غیرهمکارانه به همکارانه تغییر دهد. به‌طوری که طبق بهینه پارتو، ایران می‌تواند با جبران انگیزشی ذکر شده سود خود را در بازی افزایش دهد درحالی که سود افغانستان کاهش پیدا نکند. قابل ذکر است که جبران انگیزشی، می‌تواند کلیه داد و ستدهای دیگر در قالب دیپلماسی آب نیز باشد و الزاماً به معنای خرید و فروش مستقیم آب با قیمت‌های به دست آمده نمی‌باشد. با توجه به شرایط ویژه حوضه مشترک هریرود به دلیل عواملی مانند، عدم دسترسی ذینفعان به دیگر منابع آب سطحی، اقلیم خشک و نیمه‌خشک حوضه، جریان فصلی رودخانه و همچنین احداث سد در نقاط مختلف رودخانه، همواره باعث در معرض چالش‌های مدیریتی بر سر برداشت از آب رودخانه مشترک هریرود خواهد بود. لذا با توجه به افزایش پیچیدگی‌های هیدروپولیتیکی در حوضه، نیاز به همکاری کشورها برای ایجاد یک معاهده جامع در حوضه بسیار ضروری می‌باشد.

۶- تشکر

این مقاله با حمایت مالی گروه تحقیقات کاربردی شرکت مدیریت منابع آب ایران به انجام رسیده است.

پی‌نوشت‌ها

1- General Meta-Rationality
2- Symmetric Meta-Rationality
3- Sequential Stability

۷- مراجع

Thomas V, Warner J (2015) Hydropolitics in the Harirud/Tejen river basin: Afghanistan as hydro-hegemon?. Water International 40(4):593-613

Stefano LD, Duncan J, Dinar S, Stahl K, Strzepek KM, Wolf AT (2012) Climate change and the institutional resilience of international river basins. Journal of Peace Research 49(1):193-209

Allen P (2001) What is complexity science? Knowledge of the limits to knowledge. Emergence, Journal of Complexity Issues in Organizations and Management 3(1):24-42

Biswas AK (2011) Cooperation or conflict in transboundary water management: case study of South Asia. Hydrological Sciences Journal 56(4):662-670

Wolf AT (1998) Conflict and cooperation along international waterways. Journal of Water policy 1(2):251-265

Von Neumann J, Morgenstern O (1945) Theory of games and economic behavior. Princeton, NJ: Princeton University Press

Hipel KW, Obeidi A (2005) Trade versus the environment: Strategic settlement from a systems engineering perspective. Journal of Systems engineering 8(3):211-233

Rogers P (1969) A game theory approach to the problems of international river basins. Journal of Water Resources Research 5(4):749-760

Madani K, Hipel KW (2007) Strategic insights into the Jordan River conflict. World Environmental and Water Resources Congress, 15-19 May, Tampa, Florida, 1-10

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

Elimam L, Rheinheimer D, Connell C, Madani K (2008) An ancient struggle: a game theory approach to resolving the Nile conflict. World Environmental and Water Resources Congress, 12-16 May, Honolulu, Hawaii, 1-10

Hipel KW, Kilgour DM, Kinsara RA (2014) Strategic investigations of water conflicts in the Middle East. Group Decision and Negotiation 23(3):355-376

Howard N (1971) Paradoxes of rationality: theory of metagames and political behavior. MIT press, Cambridge, 248p

Fraser NM, Hipel KW (1979) Solving complex conflicts. IEEE Trans Syst Man Cybern, SMC 9(12):805–816

Zagare FC (1984) Limited-move equilibria in 2×2 games. Theory Decis 16:1–19

Kilgour DM, Hipel KW, Fang L (1987) The graph model for conflicts. Automatica 23(1):41–55

FAO's Information System on water and agriculture (2012) Afghanistan water and agriculture report, 21p

Toossab Consulting Company (2011) Modernization studies of the comprehensive water plan of the eastern water basin of the Gharaqom water basin. Final Report, Agricultural Studies, Consumption and Agricultural Needs, and Production Drainage, 129p (In Persian)

Li B, Tan G, Chen G (2016) Generalized uncooperative planar game theory model for water distribution in transboundary rivers. Water Resources Management 30(1):225-241

Zarezadeh M, Morid S, Fatemi F, 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)

Gholami M, Mortezapour MR, Shahnourian MM (2017) Conflict resolution of Sefidrud irrigation and drainage network with games theory .Iran-Water Resources Research 13(3):101-111 (In Persian)

Madani K, Hipel KW (2011) Non-cooperative stability definitions for strategic analysis of generic water resources conflicts. Water Resources Management 25(8):1949-1977

Nash JF (1951) Non-cooperative games. Annals of Mathematics 54(2):286–295