

## کاربرد تئوری ورشکستگی و تقاضاهای ناسازگار در حل مناقشه تخصیص منابع آب زاینده‌رود

سید پرویز جلیلی کامجو<sup>۱</sup>، رامین خوچانی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۸/۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱/۲۲

### چکیده

حل تقابل آب و تخصیص بهینه منابع مشترک آب، مهم‌ترین خدمت نظریه بازی‌های با رویکرد مشارکتی به اقتصاد آب است. حوضه آبریز زاینده‌رود مهم‌ترین حوضه مورد مناقشه در بین چند استان هم‌جوار در حوضه درجه یک فلات مرکزی ایران است. هدف این پژوهش استفاده از نظریه بازی‌های با کاربرد رویکرد ورشکستگی (تقاضاهای ناسازگار) به منظور تخصیص بهینه منابع آب سطحی و زیرزمینی در حوضه آبریز زاینده‌رود با در نظر گرفتن حق‌آبه زاینده‌رود (بخش گردشگری)، لحاظ آب انتقالی به یزد و کاشان و آب منتهی به تالاب گاوخونی در کنار تقاضای سه بخش شرب، صنعت- معدن و کشاورزی است. به منظور برآورد حق‌آبه طبیعی رودخانه و بخش گردشگری از روش مونتانا (تنانت) تحت سه سناریوی مختلف تنانت ضعیف، قابل قبول و بهینه در دوره ۱۳۶۱-۱۳۹۵ استفاده شد، که به ترتیب ۷/۷۷، ۵/۱۳۰ و ۵/۴۶۶ میلیون مترمکعب در سال برآورد شد. تئوری تقاضاهای ناسازگار در سناریوهای مختلف برای حق‌آبه زاینده‌رود (بخش گردشگری) نشان داد در هر سه سناریو بر اساس پنج قانون مختلف در تئوری ورشکستگی شامل قانون نسبی PRO، قانون محدودیت برابر پاداش‌ها CEA، قانون محدودیت برابر زیان‌ها CEL، تالمود TAL و قانون ورود تصادفی RA، روش CEA مطلوب‌ترین روش برای ۵ بخش (به جز بخش کشاورزی) بود. به منظور انتخاب روش عادلانه‌تر، از شاخص ضریب جینی و منحنی لورنز استفاده شد که نشان داد قانون CEA نسبت به سایر روش‌ها توزیع با نابرابری کمتری را دارد. به این ترتیب به دلیل شکاف فزاینده تقاضای در حوضه زاینده‌رود پیشنهاد شد تخصیص آب بر اساس قوانین تئوری ورشکستگی و تقاضاهای ناسازگار انجام یابد.

**واژه‌های کلیدی:** نظریه بازی‌ها، تقاضاهای ناسازگار، تئوری ورشکستگی، تنانت، زاینده‌رود.

**طبقه‌بندی JEL:** C22, Q25

Email: Parviz.jalili@abru.ac.ir

۱. استادیار اقتصاد دانشگاه آیت‌ا... بروجردی (ره)، (نویسنده مسئول)

Email: ramini.khochiani@abru.ac.ir

۲. استادیار اقتصاد دانشگاه آیت‌ا... بروجردی (ره)

## ۱. مقدمه

عدم تخصیص بهینه آب در یک حوضه آبریز دارای تاثیرات گسترده منفی بر حوضه‌های آبریز مجاور و متغیرهای اقتصادی-اجتماعی مناطق جغرافیایی همجوار دارد (جلیلی، ۱۳۹۸) و به شدت رشد اقتصادی حوضه را تحت تاثیر قرار می‌دهد و ابعاد مختلف تنش را تشدید خواهد نمود (خوچانی و جلیلی، ۱۳۹۸). انتخاب یک شیوه تخصیص بهینه با در نظر گرفتن ابعاد سیاسی، اجتماعی و به خصوص اقتصادی و محیط‌زیستی، برای تصمیم‌گیرندگان در میان چند رویکرد ممکن در مدیریت حوضه آبریز همیشه مناقشه‌آمیز بوده است (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۵). به طوری که تخصیص نادرست منابع محدود آب، از علت‌های عمده ایجاد تنش و درگیری بین ذینفعان یک حوضه آبریز است. اخیراً روش‌های جدیدی به منظور مدیریت رابطه متقابل انسان و آب مورد استفاده قرار گرفته است (فرشادی و همکاران، ۲۰۱۶). در این زمینه استفاده از مدل‌های حل اختلاف (تقابل) یک راهکار مناسب در تخصیص آب است (ضرغامی و صفاری، ۱۳۹۲). تئوری بازی‌ها به دلیل ماهیت آن، قابلیت در نظر گرفتن رفتار استراتژیک بازیکنان را دارا است و می‌تواند همکاری یا عدم همکاری آن‌ها را در درون مدل و بدون فشار نیروی خارجی لحاظ کند (راثی و قوامی، ۱۳۹۷). روش‌های تئوری ورشکستگی می‌توانند آب موجود را به مدعیان منبع با توجه به ادعاهای اولیه آنها اختصاص دهد (مدنی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۴). تعادل مشارکتی زمانی رخ می‌دهد که مصرف‌کنندگان منابع آب با توجه به قید سطح معین منابع و در نظر گرفتن اثرات متقابل استحصال، که به آن‌ها اجازه کسب منفعت مشخص از منابع را می‌دهد، در راستای نیل به پایداری عمل می‌نمایند (فرشادی و همکاران، ۲۰۱۶). به منظور حفظ بازی‌های مشارکتی نیروی اجباری موثر خواهد بود. به عبارت دیگر مبتنی بر پارادوکس (تناقض) عمومی کردن هزینه‌ها-خصوصی کردن منافع یک تمایل طبیعی به سمت بازی‌های غیرمشارکتی و استخراج ناپایدار حوضه‌های آبریز وجود دارد (لواسیگا<sup>۲</sup>،

1. Madani, K.; Zarezadeh, M.; Morid, S.  
2. Loaiciga, H.

۲۰۰۴). در تخصیص بهینه منابع آب مشترک بین مصرف‌کنندگان و صاحبان منابع دو رویکرد تقابل و همکاری وجود دارد (ژنگ و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۹). این پژوهش از رویکرد بازی‌های مشارکتی بهره می‌برد. زیرا تئوری‌های مشارکتی به تخصیص‌های منصفانه در منابع مشترک نزدیک‌تر است (اون<sup>۲</sup>، ۱۹۹۵). در تخصیص منابع آبی باید سه اصل برابری، کارایی و پایداری به ترتیب رعایت گردند (وانگ و همکاران، ۲۰۰۳)، که تئوری بازی‌ها با رویکرد مشارکتی قادر به تحمیل سه قید برابری، کارایی و پایداری بر مسئله بهینه‌یابی آب است (هان و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۸). در تاکید بر اصول فوق، در ایران محیط زیست و گردشگری به عنوان بخش‌های اصلی نیازمند آب، همواره پذیرای خسارات ناشی از عدم تخصیص منابع آبی بودند (جلیلی، ۱۳۹۵). این پژوهش حق‌آبه محیط‌زیست و گردشگری را در مسئله بهینه‌یابی در نظر گرفته است. در هر حوضه آبریز حل تخصیص آب با استفاده از بازی‌های مشارکتی دارای دو مرحله است: اول اینکه حقوق مالکیت اولیه آب به صورت قانونی یا توافق بین مصرف‌کنندگان توزیع شده است و سپس تخصیص بهینه با انتقال بین بخش‌های دارای حق مالکیت آب منجر به افزایش کارایی شد (وانگ<sup>۴</sup>، ۲۰۰۸). این پژوهش تخصیص مجدد منابع را مبتنی بر مالکیت و تخصیص اولیه حل خواهد نمود. همچنین چون پرداخت هیچ بازیکنی بدون کاهش در پرداخت سایر بازیکنان، افزایش نمی‌یابد (شیخ‌محمدی و مدنی، ۲۰۱۰؛ پورکاظمی و والی، ۱۳۹۲)، این پژوهش از منحنی پاره‌تو (لونز) نیز بهره خواهد برد. در نتیجه سؤال اصلی این پژوهش این است که تحت سه سناریوی ضعیف، قابل قبول و بهینه برای زاینده‌رود (بخش گردشگری) و با قید محدودیت منابع آب سطحی و زیرزمینی تئوری بازی‌ها با رویکرد بازی مشارکتی و کاربرد روش ناسازگار<sup>۵</sup> (تئوری ورشکستگی<sup>۶</sup>)، تخصیص بهینه آب در حوضه زاینده‌رود بین نیازهای شرب (مسکونی، تجاری، عمومی و فضای سبز)، کشاورزی، صنعت و معدن، محیط‌زیست

1. Zeng, Y., Li, J., Cai, Y., Tan, Q., & Dai, C.
2. Owen, G.
3. Han, Q., Tan, G., Fu, X., Mei, Y., & Yang, Z.
4. Wang, L.
5. Conflicting claims.
6. Bankruptcy.

(تالاب) و انتقال به یزد و کاشان به چه صورت خواهد بود؟ به این ترتیب ساختار این پژوهش به این ترتیب است که در بخش دوم پیشینه پژوهش داخلی و خارجی ارائه شد. در بخش سوم مبانی نظری تئوری بازی‌ها و روش تقاضاهای ناسازگار مطرح شد. بخش چهارم به نتایج اختصاص دارد و در نهایت نتیجه‌گیری و پیشنهادات سیاستی ارائه شد.

## ۲. پیشینه پژوهش

نخستین کاربرد تئوری بازی‌ها در منابع آب توسط راجرز<sup>۱</sup> (۱۹۶۹) در تخصیص آب رودخانه‌های گنگ و براهماپوترا، بین پاکستان و هند مدل‌سازی شد. سوپالا و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۲) با استفاده از تئوری بازی‌ها به تخصیص بهینه آب بین کلرادو، نبرسکا و آیومینگ پرداختند. این بازی مبتنی بر قید کمبود آب برای تقاضاهای مختلف بود و از حراج پی درپی با تکرار پیشنهادها به حل مسئله تخصیص پرداختند. لویسیگا (۲۰۰۴) استخراج آب زیرزمینی را با دو حالت همکاری و عدم همکاری بین دو مصرف‌کننده در نظر گرفت و نشان داد که در حالت همکاری علاوه بر افزایش سود بلندمدت دو مصرف‌کننده، عمر چاه نیز افزایش خواهد یافت. شوکی‌وی<sup>۳</sup> (۲۰۰۸) با استفاده از تعمیم بازی معمای زندانی به مالکیت آب در یک رودخانه در چین نشان داد که در بازی‌های غیرمشارکتی، بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب آب مورد نیاز خود را بدست می‌آورند و بخش محیط‌زیست شدیداً مورد آسیب قرار می‌گیرد. اما در بازی‌های مشارکتی در حالت بهینه بخش صنعت، شرب و کشاورزی به ترتیب با کسری آب مواجه هستند و محیط‌زیست سهم آب بیشتری دریافت می‌نماید. مدنی (۲۰۱۰) نشان داد که تئوری بازی‌ها در مدیریت منابع آبی و حل مسایل تقابل از طریق بازی‌های غیرمشارکتی ساختار پویای مسایل منابع آبی را شفاف می‌نماید. سیالو<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از یک بازی مشارکتی و رویکرد حداکثرسازی پی‌درپی رفاه به مدیریت تخصیص آب در حوضه رودخانه ارنج

1. Rogers, P.

2. Supalla, R., Klaus, B., Yeboah, O., Bruins, R.

3. Shouke Wei, M.A.

4. Siehlow, M., Reif, J., Hirschhausen, CH., Dreuse, A., Koschker, S., Schneider, S. and Werner, W.

سنکو آفریقای جنوبی پرداختند و از ارزش هسته شیلی به منظور ارزیابی ساختار انگیزه در حالت‌های مختلف مشارکت استفاده کردند. نتایج نشان داد که یک ائتلاف، مجموع رفاه را تا پنج درصد نسبت به حالتی که تمام متقاضیان آب عملکرد انفرادی داشته باشند، افزایش می‌دهد. دی‌کانیو و فرمستاد<sup>۱</sup> (۲۰۱۳) به ارزیابی تئوری بازی‌ها در دیپلماسی مشکلات آب و هوایی پرداختند. آنها با استفاده از یک بازی  $2 \times 2$  و با استفاده از تئوری معمای زندانی، بازی‌های همکارانه، بازی جوجه و شکارچی به برآورد نتایج و پیامدهای بازی بین ایالت‌های فرضی در ایالات متحده پرداختند. کیکسینی و ورگا<sup>۲</sup> (۲۰۱۹) با استفاده از یک بازی تفاضلی با راه‌حل‌های تقسیم‌شده نشان دادند که با داده‌های فرضی پی‌آف بازی مشارکتی بیشتر از بازی غیرمشارکتی (تعادل ناش) است. جمع‌بندی مطالعات در جدول (۱) ارائه شد.

جدول ۱. تخصیص آب بین کشورهای مختلف بر اساس تئوری بازی‌ها

نویسندگان	سال	مکان مناقشه آب	روش حل مسئله و نوع بازی
Dufournaud	۱۹۸۲	کانادا و آمریکا - لائوس، تایلند و ویتنام	تئوری غیرمشارکتی ابربازی
Becker & Easter	۱۹۹۵	آمریکا و کانادا	استراتژی‌های غالب در بازی‌های غیرمشارکتی
Fisvold & Caswell	۲۰۰۰	آمریکا و مکزیک	مفاهیم راه حل مشارکتی
Wang et al.	۲۰۰۳	حوضه آبریز دریاچه آرال	تخصیص ۲ مرحله‌ای مشارکتی، تاکید بر حق آب اولیه
Kucukmehmetoglu & Guldmen	۲۰۰۴	عراق، سوریه و ترکیه	راه حل مشارکتی
Madani and Hipel	۲۰۰۷	اسرائیل، اردن، لبنان، فلسطین و سوریه	راه حل غیرمشارکتی و مدل گراف برای حل تقابل
Elimam et al.	۲۰۰۸	کنیا، روآندا، سودان، تانزانیا و اوگاندا	بازی غیرمشارکتی، مدل گراف برای حل تقابل
Fernandez	۲۰۰۹	آمریکا و مکزیک	مدل بازی تفاضلی، غیرمشارکتی و مشارکتی

1. DeCanio, S. J., Fremstad, A.
2. Kicsiny, R., & Varga, Z.

نویسندگان	سال	مکان مناقشه آب	روش حل مسئله و نوع بازی
Sheikhmohammady & Madani	۲۰۱۰	آذربایجان، ایران، قزاقستان، روسیه و ترکمنستان، ایران و افغانستان	چانه زنی اندوخته، قوانین انتخاب عمومی، رویکرد ورشکستگی، غیرمشارکتی و مشارکتی
Kucukmehmetoglu	۲۰۱۲	دجله و فرات	جبهه پاره تو و بازی مشارکتی
Safari et al.	۲۰۱۳	زربنده رود ایران	رهبر-پیرو دو مرحله ای و چانه زنی ناش
Madani et al.,	۲۰۱۴	۸ استان حریم قزل اوزون- سفیدرود	تئوری ثبات تخصیص ورشکستگی جدید
Farhadi et al.	۲۰۱۶	منابع سطحی بخش کشاورزی داریان شیراز	تعادل ناش مبتنی بر نماینده و شبکه اعصابی مصنوعی
Han et al.	۲۰۱۸	رودخانه هانجیان چین	رهبر- پیرو چندجانبه مشارکتی دو سطحی
Zeng, et al.,	۲۰۱۹	حوضه آبریز شهر بیجینگ و ژانجیاکو چین	تئوری بازی متداخل مشارکتی و چانه زنی رابینستین
Liu, et al.,	۲۰۲۰	حوضه آبریز استان گانژو چین	ارزیابی ریسک تخصیص آب با استفاده از مدل سازی منطق فازی و تئوری بازی ها

منبع: یافته های پژوهش، ۱۳۹۷

ژنگ و همکاران (۲۰۱۹) به منظور حل مناقشه آبی در حوضه آبریز مناطق مرزی در شهر بیجینگ و ژانجیاکو چین از تئوری بازی متداخل مشارکتی و چانه زنی با کاربرد مدل برنامه ریزی خطی بهره بردند. نتایج این تخصیص نشان داد حق آبه های اولیه و حق تخلیه پس آب اولیه موجود در حوضه آبریز به چانه زنی های دو طرفه به صورت منصفانه تعیین شده اند. همچنین یک مکانیسم کارآ به منظور مبادله حق آبه ها از منابع آب زیرزمینی به صورت اجاره طراحی گردید. لیو و همکاران (۲۰۲۰) ارزیابی ریسک تخصیص آب با استفاده از مدل سازی منطق فازی و تئوری بازی ها در حوضه آبریز استان گانژو چین به منظور تخصیص انتزاعی و واقعی آب استفاده نمودند و ۱۵ فاکتور به منظور ارزیابی ریسک

تخصیص بهینه را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که این تخصیص در سال‌های خشک‌ترین ریسک را بر تخصیص منابع آب زیرزمینی و سطحی تحمیل می‌نماید. مازندرانی و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از تعادل ایستا و پویا در بازی غیرهمکارانه و بازی همکارانه کامل در حوضه آبریز قزوین نشان دادند که منافع حاصل از بازی همکارانه بیشتر است. صبحی و مجرد (۱۳۸۹) با استفاده از بهینه پاره‌تو و راه‌حل‌های نامتناسب ناش، سطوح همگن، اسمردینسکای و ضررهای یکسان برای حوضه آبریز اترک خراسان شمالی و منابع آب زیرزمینی نشان دادند که استخراج بهینه بین ۷۴ تا ۱۱۷ میلیون مترمکعب است. پورسیاهی و کراچیان (۱۳۸۹) با استفاده از روش‌های شاپلی و نوکلئولوس نشان دادند که بازی‌های مشارکتی از قابلیت بالایی در زمینه کاهش اختلافات در سیستم رودخانه‌ای کارون- دز برخوردار می‌باشد. پورزند و زیبایی (۱۳۹۰) برای به دست آوردن ماتریس تاوان برای دو هدف متعارض (اقتصادی و زیست محیطی) و استخراج مرز پارتو یا منحنی مبادله از الگوی برنامه ریزی خطی و ضریب برداشت بیش از حد استفاده شد. سپس با بهره‌گیری از چهار روش نظریه بازی‌ها شامل راه‌حل نامتقارن نش، راه‌حل نامتقارن کلی - اسمردینسکای، راه‌حل نامتقارن مساحت یکنواخت و راه‌حل زیان مساوی، میزان بهینه برداشت از آب‌های زیرزمینی تعیین شد. در این مقاله از داده‌های ۱۲۸ نمونه تصادفی در شهرستان فیروزآباد در سال زراعی ۱۳۸۶-۱۳۸۷ استفاده شده است. نتایج نشان داد هنگامی که اهداف اقتصادی و زیست محیطی از اهمیت یکسانی برخوردار باشند، میزان برداشت بهینه در سال ۱۳۸۶-۱۳۸۷ برابر با ۱۶۲,۷۹ میلیون مترمکعب است. غفاری مقدم و همکاران (۱۳۹۱)، به ارزیابی تخصیص بهینه منابع آب مخازن چاه نیمه با استفاده از مدل‌های نظریه بازی‌ها پرداختند. در جریان تخصیص مجدد سود بر مبنای مفهوم ارزش شیلی بیشترین سود متعلق به آب شرب زاهدان بود که دارای بیشترین دریافت‌های جانبی از دیگر شرکا و منافع افزوده در کل دوره است. کمترین سود نیز متعلق به بخش کشاورزی است. ضرغامی و صفاری (۱۳۹۲) نشان دادند که در صورت اهمیت برابر سهم بخش‌های مختلف در افق سال ۱۴۰۰ به ترتیب برابر ۷۸۰، ۳۲۳، ۷۸ و ۵۰۱ میلیون متر مکعب و در

شرایط اهمیت نسبی برابر سهم استان‌های آذربایجان غربی، شرقی و کردستان و دریاچه ارومیه از منابع آب قابل دسترس حوضه زرينه‌رود به ترتیب ۳۸، ۱۷، ۱۶ و ۳۹ درصد است. اکبری و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از یک مدل همکارانه در حوضه زاینده‌رود نشان دادند که سناریویی که حداکثر نیاز ذی نفعان را تامین کند، برتر از سایر رویکردها است، به صورتی که ۸۷/۳ درصد نیاز آبی تالاب برای حفظ شرایط مطلوب آن تامین می‌شود. دانش‌یزدی و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند که نظریه بازی‌های همکارانه با رویکرد هسته، ارزش شپلی و شاخص پایداری به‌همراه یک مدل جامع مدیریت منابع آب می‌تواند به‌طور مؤثری برای ارزیابی حالات مختلف همکاری در حوضه آبریز دریاچه ارومیه به‌کار گرفته شود. پورکاظمی و والی (۱۳۹۳) به تخصیص آب بین دو بخش کشاورزی و صنعت با استفاده از بهینه‌پاره‌تو در حوضه آبریز زاینده‌رود پرداختند. مطابق نتایج حاصل از بازی دونفره کشاورزی و صنعت، پس از کسر آب شرب، سهم بخش‌های کشاورزی و صنعت به ترتیب به میزان ۸۲/۸۵٪ و ۱۴/۱۸٪ است تا سود کل استان ماکزیمم شود. جلیلی و خوش‌اخلاق (۱۳۹۵) با برآورد ۵ تابع تقاضای مختلف با تعریف سه سناریوی مختلف به تخصیص آب در زاینده‌رود پرداختند. رحیمی و همکاران (۱۳۹۵) بر اساس تئوری بازی‌ها و معادله نش با استفاده از الگوریتم بهینه‌ساز PSO مرتبط با مدل شبیه‌ساز MODSIM بر روی حوضه آبریز زرينه‌رود و سد بوکان نشان دادند که، تعادل نش نسبت به تخصیص کنونی منجر به رفاه بالاتر خواهد شد. قوامی و راثی (۱۳۹۷) نشان دادند که روش‌های غیرهمکارانه به دلیل در نظر گرفتن تضاد مطلوبیت‌های تصمیم‌گیرندگان و تمایل شدید به افزایش سود شخصی، عدم نیاز به وزن دهی کمی به معیارها و تصمیم‌گیرندگان، استفاده از داده‌های کیفی و نسبی و کاهش حجم نسبی محاسبات بهتر از روش‌های همکارانه است.

نظریه بازی‌ها با طرح تئوری تقاضاهای ناسازگار و یا تئوری ورشکستگی که رویکردی از نظریه بازی‌های همکارانه است (میرشفیعی و همکاران، ۱۳۹۴) به این مسئله پاسخ می‌دهد که منبع محدود آب بین تقاضاهایی که دارای مازد هستند با چه الگوریتمی باید



تخصیص داده شود (سباستیانو و همکاران، ۲۰۱۷). حل این مساله از طریق نظریه بازی‌ها، اولین بار توسط اونیل<sup>۱</sup> (۱۹۸۲) و آیومان و ماچلر<sup>۲</sup> (۱۹۸۵) معرفی شد. همین مساله در مورد تخصیص آب زاینده‌رود به بخش‌های مختلف صنعت، کشاورزی، آب شرب، آب انتقال یافته به یزد و کاشان، سهم تالاب ورزنه و در نهایت سهم خود رودخانه زاینده‌رود به عنوان بخش گردشگری و زیست محیطی نیز وجود دارد. این که هر کدام از بخش‌ها بر اساس نیاز و تقاضای موجود، چه مقدار مجاز خواهند بود از منابع آبی رودخانه برداشت کنند تا سهم رودخانه نیز به عنوان یک عامل گردشگری و عامل زیست محیطی حفظ شود از اهداف پژوهش حاضر است. به این ترتیب جمع‌بندی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد علاوه بر به‌روز نمودن داده‌ها و استفاده از اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی، مهم‌ترین نوآوری این پژوهش استفاده از تئوری ورشکستگی، در نظر گرفتن سهم زاینده‌رود (بخش گردشگری) تحت سناریوهای مختلف روش تنانت و انتقال آب به یزد و کاشان در کنار ۴ بخش شرب، کشاورزی، صنعت و معدن و محیط‌زیست است. در نظر نگرفتن سهم زاینده‌رود و انتقال آب به یزد و کاشان، تخصیص بهینه بر اساس ضرایب برآردی را تورش‌دار و ناسازگار می‌نماید که در این پژوهش این موارد در نظر گرفته شده است. همچنین در این پژوهش به صورت ماهیانه از اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری استفاده شده است و داده‌ها به صورت اختصاصی محاسبه شده است و خطای داده‌ها بسیار کاهش یافته است.

### ۳. مبانی نظری

منابع آب سطحی و زیرزمینی به دلیل کمیابی، یک منبع تقابل است (جلیلی، ۱۳۹۸). روش‌های مختلفی به منظور تخصیص بهینه منابع آب و حل مسائل تقابل آب وجود دارد، یکی از ابزارهای نیل به تخصیص بهینه، تئوری بازی‌ها است (مدنی و همکاران، ۲۰۱۴).

1. O'neill.

2. Aumann & Maschler.

نتایج حاصل از تئوری بازی‌ها متفاوت از روش‌های بهینه‌یابی است، زیرا روش‌های بهینه‌یابی فرض می‌نمایند که همه بخش‌ها تمایل برای حرکت به سمت بهترین سیستم با نتایج بهینه دارند (مدنی، ۲۰۱۰). اما در مقابل نظریه بازی‌ها می‌تواند رفتار ذی‌نفعان مسئله منابع آبی را شناسایی و تفسیر نماید و توضیح دهد که چگونه فعل و انفعالات بخش‌های مختلف بجای هدف سیستم، اولویت را به اهداف خود می‌دهند (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۵). از ویژگی‌های مهم تئوری بازی‌ها نسبت به روش‌های بهینه‌یابی و شبیه‌سازی سنتی مقداری، توانایی تئوری بازی در شبیه‌سازی جنبه‌های مختلف تقابل، متحداشکل کردن ویژگی‌های متنوع مسئله و پیش‌بینی نتایج و تحلیل در عدم حضور اطلاعات مقداری پی‌آف‌های بازی است (هان و دیگران، ۲۰۱۹). در تخصیص بهینه منابع آب مشترک بین مصرف‌کنندگان و صاحبان منابع دو رویکرد تقابل و همکاری وجود دارد (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۹). بر اساس نوع توافق بازیگران، بازی‌ها به انواع همکاری و غیرهمکارانه تقسیم می‌گردند. در این بازی فرض می‌شود که بازیکنان می‌توانند با یکدیگر مذاکره کنند تا تعهدات الزام‌آوری انجام دهند و به منظور اهداف مشترک باهم همکاری کنند. در این بازی، هر بازیکن تمام اطلاعات موجود در ارتباط با رقیب خود را می‌داند و همه بازیکنان قادر هستند تا تصمیماتشان را اجرا کنند. (محمودی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۵)

بازی‌های مشارکتی به دو نوع بازی استراتژیک یا نرمال که معمولاً برای بازی‌های ایستا (حرکت همزمان) کاربرد دارد و بازی‌های گسترده که معمولاً برای بازی‌های پویا کاربرد دارد، تقسیم می‌گردد (عبدلی، ۱۳۹۵). ذی‌نفعان منبع تقابل ممکن است تمایل به مشارکت برای بهبود تخصیص منابع آب به یک موقعیت برد-برد داشته باشند و یا به یک رویکرد غیرهمکارانه گرایش داشته باشند (کیکسنی و ورگا، ۲۰۱۹). در مدل‌های همکارانه فرض بر همکاری کامل بین بازیکنان، برای دستیابی به نتیجه بهینه برای سیستم است (هان و

همکاران، ۲۰۱۸). نظریه بازی‌ها با رویکرد مشارکتی چهارچوب منطقی و واقعی را برای نشان دادن رفتار کاربران آب با اهداف مختلف نشان می‌دهد (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۵)، به طوری که مسئله از حالت چند تصمیم گیرنده و چند معیاره به حالت تک تصمیم گیرنده و چند معیاره تبدیل و سپس حل شد. چنین شباهتی به باور کارشناسان نظریه بازی، منجر به سهولت درک و آشنایی بهتر محققان با این مدل‌ها نسبت به مدل‌های غیرهمکارانه شد (مدنی و هیپل<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱). در این رویکرد توابع هدف تصمیم گیرندگان با یکدیگر ادغام شده و یک تابع هدف ترکیبی ایجاد می‌شود تا مسئله از حالت چند هدفه به تک هدفه تبدیل گردد. در این گونه مسائل، تنها یک تصمیم گیرنده آگاه و قدرتمند تعریف شده و آنگاه تصمیم نهایی به صورت عادلانه و بر اساس معیارهای اعلام شده توسط افراد ذی‌نفع در مسئله اتخاذ می‌شود (مدنی، ۲۰۱۱). به این ترتیب تئوری‌های مشارکتی به تخصیص‌های منصفانه در منابع مشترک نزدیک‌تر است (اون، ۱۹۹۵). زیرا رویکرد تخصیص آب صرفاً براساس حقبه اولیه معمولاً منجر به استفاده کارآمد از آب در کل یک حوضه آبریز نخواهد شد. در این میان، نیاز به یک روش جامع و پایدار به منظور انجام تخصیص به نحوی که تمامی گروه‌های ذینفع در بالاترین سطح رضایت قرار داشته باشند، ضروری به نظر می‌رسد (دانش‌یزدی و همکاران، ۱۳۹۳). اغلب بازی‌های مشارکتی می‌تواند تقابل مبتنی بر پی‌آف‌های کیفی را حل نمایند (یعنی بازیگران چگونه می‌توانند پیامدهای مختلف را رتبه یا درجه‌بندی نمایند). این توانایی‌ها اجازه می‌دهد که جنبه‌های اجتماعی-اقتصادی تقابل و مسئله برنامه‌ریزی، طراحی و سیاست‌گذاری را زمانی که اطلاعات کمی در دسترس نیست مدیریت نمود (صفری و همکاران، ۲۰۱۳). با غیبت بازار و با تعریف غیرشفاف حقوق مالکیت، تقابل بر سر تخصیص بهینه آب بین استفاده‌کنندگان مختلف امری ناگزیر است (شوکی‌وی، ۲۰۰۸). مسئله تقابل در صورتی که منابع آبی در مرزهای جغرافیایی بین چند کشور یا ایالت، مشترک باشند بسیار پیچیده‌تر می‌گردد (جلیلی، ۱۳۹۵). مسئله تقابل بین‌المللی آب به دوران جنگ نرم برمی‌گردد، دوره‌ای که کشورهای جهان درک خاصی

1 . Madani, K. Hipel, KW.

از امنیت داشتند (اولسون، ۱۹۹۹). اما با شدت کم‌آبی، تقابل در مقایسه‌های کوچک‌تر بین استانی در کشورهایی مانند ایران نیز در حال گسترش است. تقابل در حوضه آبریز فلات مرکزی با حوضه خلیج فارس و دریای عمان بین استان‌های اصفهان، چهارمحال و بختیاری، خوزستان و یزد، در هر دو بُعد منابع آب زیرزمینی و سطحی مهم‌ترین چالش آبی درون مرزی در ایران است (حاجیان و حاجیان، ۱۳۹۳). حتی در برخی حوضه‌های آبریز مشترک زیرزمینی در این دو حوضه درجه یک ایران، تقابل آب در منابع آب زیرزمینی به صورت حفر چاه‌های غیرمجاز بسیار شدیدتر از تقابل آب‌های سطحی است (جلیلی، ۱۳۹۵). تقابل بر سر مسایل آبی محدود به تقسیم دقیق و عادلانه هزینه‌ها و منافع آب و خدمات ناشی از آن نمی‌شود، دقیقاً مسایلی که بیشتر اقتصاددانان بر روی آن‌ها تمرکز نموده‌اند. تقابل می‌تواند بر سر جنبه‌های سیاسی و اجتماعی طرح‌ها، عملکرد و مدیریت پروژه‌های آبی ایجاد گردد (داینر<sup>۲</sup>، ۲۰۰۴). بطور کلی برای بازی‌های منابع آبی و زیست‌محیطی سه نوع بازی برحسب بازیگران مختلف می‌توان تعریف نمود (شوکی‌وی، ۲۰۰۸). ۱- بازی HH: بازی که در اجتماع بشری اتفاق می‌افتد و هر دو طرف بازی بشر است و طبیعت در آن بازی انجام نمی‌دهد. ۲- بازی HN: بازی که بین بشر و طبیعت اتفاق می‌افتد. یک طرف بازی انسان و طرف مقابل بازی طبیعت است. ۳- بازی NN: بازی که در طبیعت اتفاق می‌افتد و هر دو طرف بازی طبیعت است و انسان در آن بازی انجام نمی‌دهد. همچنین در تئوری بازی‌ها به منظور تخصیص منابع آبی سه مسئله اساسی مطرح است: ۱- اثبات وجود آب به عنوان یک منبع تقابل، ۲- شناخت شاخص‌های تنش آب، ۳- تاثیرات تقابل آب بر تلاش‌های ایجاد همکاری و مشارکت در تخصیص منابع آبی. به این ترتیب نوع بازی در این پژوهش بازی انسان و طبیعت HN تقابل بخش کشاورزی، صنعت و معدن و شرب (مسکونی، تجاری فضای سبز شهری و عمومی) با بخش محیط‌زیست و بخش گردشگری (تالاب گاوخونی و زاینده‌رود) و بازی بازی NN انسان با انسان سه

1 . Ohlsson, L.  
2 . Dinar, A.,

بخش فوق بین در درون حوضه آبریز زاینده‌رود در اصفهان و در خارج از حوضه آبریز زاینده‌رود یعنی انتقال آب به یزد و کاشان است. سه مسئله اساسی در تئوری بازی‌های منابع آب، در حوضه آبریز زاینده‌رود نیز وجود دارد، تقابل بر سر منابع آب سطحی و زیرزمینی، شاخص‌های تنش که شامل حق‌آبه زاینده‌رود و تالاب، انتقال آب به خارج از حوضه آبریز و سهم صنعت و معدن از حوضه منابع حوضه است و در نهایت تقابل و تنش شدید آب، که تاکنون امکان ایجاد یک بازی همکارانه را به منظور تخصیص بهینه منابع آب حوضه آبریز زاینده‌رود برای مدیران آب محیا نموده است.

#### ۴. روش پژوهش

به منظور تشریح نظریه ورشکستگی، فرض کنید دسته‌ای از استفاده‌کنندگان یک منبع  $N = \{1, 2, 3, \dots, N\}$  و منبع محدود و قابل تقسیم  $E \in \mathbb{R}_+$  وجود دارد که می‌بایست بین استفاده‌کنندگان تخصیص داده شود. هر نماینده مقدار مطالبه و ادعایی دارد که آن را با  $c_i \in \mathbb{R}_+$  نشان می‌دهیم؛ به طوری که  $c \equiv (c_i)_{i \in N}$  بردار تقاضاها باشد. یک بازی تقاضاهای ناسازگار یک جفت  $(E, c)$  است، به طوری که  $\sum_{i=1}^n c_i > E$ ، یعنی میزان مجموع مطالبه بازیکنان از کل موجودی منبع بیشتر است. بازیکنان با توجه به ادعای تقاضایشان رتبه‌بندی می‌شوند.  $c_1 \leq c_2 \leq c_3 \leq \dots \leq c_n$ . و با مجموعه  $\mathcal{B}$  نشان داده می‌شود. با توجه به یک مساله تقاضای ناسازگار، هر قاعده و قانونی که برای تخصیص و توزیع موجودی در میان بازیکنان به کار می‌رود، در چارچوب نظریه بازی‌های همکارانه پیشنهاد می‌شود. قوانین ذیل یک تابع تک ارزش  $\varphi: \mathcal{B} \rightarrow \mathbb{R}_+^n$  هستند؛ به طوری که  $0 \leq \varphi_i(E, c) \leq c_i$  برای تمام  $i \in N$  و  $\sum_{i=1}^n \varphi_i(E, c) = E$ . قانون نسبی<sup>۱</sup> (PRO): مشهورترین و ساده‌ترین روش از تئوری ورشکستگی، روش نسبت یا تناسب است (زارع زاده و همکاران، ۲۰۱۳). توزیع موجودی به صورت متناسب بین تقاضاها را پیشنهاد می‌دهد؛ به طوری که برای هر  $(E, c) \in \mathcal{B}$  و هر  $i \in N$   $P_i(E, c) = \lambda c_i$  باشد که

1 . Proportional.

$\lambda = \frac{E}{\sum_{i \in N} c_i}$  ضریب تخصیص هر نماینده یا استفاده‌کننده است. قانون محدودیت برابر پاداش‌ها<sup>۱</sup> (CEA): مقادیر مساوی به بازیکنان داده می‌شود، با این محدودیت که هیچ بازیکنی بیش از نیاز و مطالبه اش دریافت نمی‌کند. به عبارت دیگر میزان نیاز به صورت یکسان برآورده شود به طوری که میزان تخصیص یافته به هر فرد، از میزان نیازش بیشتر نباشد (آنسینک، ۲۰۰۹). یعنی ابتدا کمترین درخواست برای همه تخصیص داده شود و سپس با حذف آن مدعی، همین روند برای بقیه نیز در نظر گرفته شود تا موجودی منبع به اتمام برسد. این روش اولویت تخصیص را به استفاده‌کنندگان کمتر می‌دهد و این گروه از مدعیان بیشترین سهم ممکن را می‌برند. رابطه شماره ... این تخصیص را به صورت ریاضی نشان می‌دهد. برای هر  $(E, c) \in \mathcal{B}$  و هر  $i \in N$   $CEA_i(E, c) \equiv \min\{c_i, \mu\}$  باشد به طوری که  $\sum \min\{c_i, \mu\} = E$ . قانون محدودیت برابر زیان‌ها<sup>۲</sup> (CEL): بردار پاداش‌ها را به گونه‌ای انتخاب می‌کند که همه بازیکنان با زیان‌های مشابه مواجه شوند، با این محدودیت که هیچ بازیکنی مقدار منفی دریافت نمی‌کند. سعی می‌شود تا میزان کمبود موجود بین همه مدعیان به صورت یکسان تقسیم گردد. این قانون برعکس قانون CEA اولویت تخصیص را به استفاده‌کنندگان بیشتر می‌دهد. به عبارت دیگر برای هر  $(E, c) \in \mathcal{B}$  و هر  $i \in N$   $CEL_i(E, c) \equiv \max\{0, c_i - \mu\}$  باشد به طوری که  $\mu$  به گونه‌ای باشد که  $\sum \max\{0, c_i - \mu\} = E$ . (آیومان و ماچلر، ۱۹۸۵). قانون تالمود<sup>۳</sup>: توسط آیومان و ماچلر، (۱۹۸۵) معرفی شدند. این قانون پیشنهاد می‌کند که اگر موجودی (میزان دارایی‌ها) به اندازه نیمی از مجموع نیازها نباشد، بین بازیکنان قانون CEA اعمال شود یعنی هیچ کدام از مدعیان بیش از نیمی از میزان نیازشان را دریافت نمی‌کند و بالعکس. در غیر این صورت هر بازیکن نیمی از تقاضای خود را دریافت کرده و برای باقی‌مانده تقاضا، قانون CEL اجرا شود. قانون ورود تصادفی<sup>۴</sup> (RA): اونیل (۱۹۸۲) فرض

1. Constrained Equal Wards.  
 2. Constrained Equal Losses.  
 3. Talmud.  
 4. Random Arrival.

می‌کند که مدعیان، براساس نوبت و ترتیب اعلام نیاز خود سهمشان را دریافت می‌کنند و این روند تا هنگامی که موجودی تمام شود ادامه پیدا می‌کند. البته برای تخصیص عادلانه، کلیه جایگشت‌های ممکن برای هر نماینده در نظر گرفته می‌شود و سپس با استفاده از رابطه ۱ برای تخصیص استفاده می‌کند.

$$RA_i(c, E) = \frac{1}{n!} \sum_{\pi \in \Pi} \min\{c_i, \max\{0, E - \sum_{j \in \pi[i]} c_j\}\} \quad (1)$$

## ۵. یافته‌های پژوهش

### ۵-۱. توصیف داده‌ها

داده‌های منابع آب زیرزمینی در دوره ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۵ برای برآورد مدل و در دوره ۱۳۶۱-۱۳۹۵ برای برآورد نیاز گردشگری و زیست‌محیطی رودخانه از سالنامه آماری استان اصفهان و گزارش‌های شرکت مدیریت منابع آب ایران در بخش‌های چاه عمیق، نیمه عمیق، قنات و چشمه استخراج شد. اطلاعات منابع آب سطحی نیز از گزارش‌های روزانه ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی مختلف در استان اصفهان و چهارمحال بختیاری استخراج گردید. سایر اطلاعات استفاده شده نیز از گزارش‌های مختلف شرکت آب منطقه‌ای اصفهان و سالنامه آماری آب منتشر شده توسط وزارت نیرو استخراج شده است.



تصویر شماره ۱. طرح های انتقال آب در حوزه زاینده رود

منبع: صفوی و راست قلم، ۱۳۹۵

حوضه آبریز زاینده رود با مساحت ۲۶۹۷۲ کیلومترمربع، از شمال به حوضه آبریز دریاچه نمک، از غرب و جنوب غرب حوضه کارون و دز، از شرق به حوضه دق سرخ و کویر سیاه کوه و از جنوب به حوضه شهرضا محدود می گردد. از این مساحت ۹۹ درصد آن در استان اصفهان و ۷ درصد آن در استان چهارمحال و بختیاری واقع است.



جدول ۲. خلاصه ای از داده های مورد استفاده در پژوهش

میزان مصرف آب کشاورزی	انتقال از تونل گلاب ۱ و ۲ به کاشان و دلپجان	انتقال آب به یزد	آب ورودی به تالاب در روزبه	نیاز آبی رودخانه و گردشگری از سرچشمه تا تالاب روش تانت و مرتیلا	تقاضای آب صنعت و معدن در زاینده رود	سرانه شرب به لیتر به روز*	تقاضای بخش شرب زاینده رود	جمع کل عرضه آب در عرضه زاینده رود	تونل چشمه لنگان و خدابنگستان	کانال دوم	کانال اول	انتقال دو تونل + لنگان + خدابنگستان	سد ذخیره سد	عرضه آب سطحی زاینده رود	آب ورودی به سد	خروجی آب از سد	برآورد طبیعی زاینده رود	معرضه آب زیرزمینی	سال آبی
۳۵۰۷	۰	۵۷	۱/۳	۷۵	۱۸۸	۱۶۲	۱۷۴	۴۰۰۲	۰	۱۳۰	۲۳۷	۳۶۷	-۵۳۴	۵۶۳	۶۲۳	۱۱۵۷	۱۹۵	۳۰۱۲	۷۹-۸۰
۴۵۷۹	۰	۵۷	۱/۷	۱۴۵	۲۷۳	۱۶۳	۱۹۱	۵۲۴۶	۰	۴۲۸	۳۱۸	۷۴۶	-۲۷۰	۱۱۵۷	۱۲۲۷	۱۴۹۷	۴۱۱	۳۲۷۳	۸۰-۸۱
۵۰۴۰	۰	۵۷	۴/۵	۱۲۴	۳۱۰	۱۶۱	۲۰۸	۵۷۴۴	۰	۴۱۹	۳۴۹	۷۶۷	۷۳	۱۴۹۷	۱۵۷۶	۱۵۰۳	۷۳۰	۳۴۰۱	۸۱-۸۲
۵۵۴۳	۰	۵۷	۱۰/۹	۹۵	۳۵۲	۱۶۲	۲۲۵	۶۲۸۳	۰	۵۱۷	۲۵۶	۷۷۳	-۱۵۸۲	۱۵۰۳	۱۷۸۱	۳۳۶۴	۷۳۰	۳۷۲۹	۸۲-۸۳
۶۸۰۱	۷/۸	۹۰	۳۴/۸	۴۱۶	۴۵۹	۱۶۸	۲۴۶	۸۰۵۴	۰	۳۵۶	۱۷۶	۵۳۲	۱۸۰۷	۳۳۶۴	۳۶۴۶	۱۸۳۹	۲۸۳۲	۳۸۷۶	۸۳-۸۴
۶۲۶۵	۷/۸	۸۵	۷۳/۹	۲۱۳	۴۲۵	۱۹۰	۲۵۵	۷۳۲۵	۰	۳۵۶	۳۰۲	۶۵۸	۳۰۶	۱۸۳۹	۲۱۰۸	۱۸۰۲	۱۱۸۲	۴۵۵۹	۸۴-۸۵
۶۴۲۵	۷/۸	۸۵	۸۱	۱۶۲	۴۴۰	۱۹۳	۲۶۳	۷۴۶۵	۴۱	۳۵۶	۲۰۵	۶۰۲	۶۹۲	۱۸۰۲	۱۹۱۵	۱۲۲۳	۱۱۹۹	۴۹۸۸	۸۵-۸۶
۵۳۴۳	۷/۸	۶۵	۳۸/۲	۷۴	۳۷۲	۲۱۹	۳۰۳	۶۲۰۳	۶۹	۳۵۶	۹۱	۵۱۶	۶۱۶	۱۲۲۳	۱۲۹۶	۶۸۰	۷۰۷	۴۴۵۹	۸۷-۸۶
۴۳۶۱	۷/۸	۶۵	۴/۷	۵۹	۳۱۸	۲۲۱	۳۱۱	۵۱۲۶	۱۴۲	۳۲۹	۱۲۴	۵۹۶	-۵۴۴	۶۸۰	۸۱۶	۱۳۶۰	۸۵	۳۸۵۷	۸۷-۸۸
۴۶۵۸	۷/۸	۶۵	۵	۹۶	۳۵۲	۲۲۷	۲۲۳	۵۵۰۸	۹۲	۵۰۰	۱۸۹	۷۸۱	۶۶۶	۱۳۶۰	۱۴۵۳	۷۸۷	۵۷۹	۳۳۶۶	۸۸-۸۹
۳۷۹۵	۷/۸	۶۵	۰/۹	۶۲	۲۷۱	۲۱۶	۳۱۳	۴۵۱۵	۹۷	۲۸۸	۱۷۸	۵۶۳	-۲۰۹	۷۸۷	۸۹۰	۱۰۹۹	۲۲۵	۳۱۵۹	۹۰-۸۹

۶۲ □ فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی / شماره ۳۹، بهار ۹۹

میزان مصرف آب کشاورزی	۳۶۶	۷/۸	۶۵	۵/۲	۷۵	۲۴۰	۲۲۳	۲۲۷	۴۳۶	۱۱۲	۲۷۷	۱۲۹	۵۱۸	۱۳۱	۱۰۹۹	۱۲۱۰	۱۰۷۹	۵۸۱	۲۷۵۰	۹۱-۹۰
انتقال از توزین گلاب ۱ و ۲ به کاشان و دلپجان	۳۵۹۴	۷/۸	۶۵	۱/۸	۷۹	۲۲۹	۲۳۲	۳۴۴	۴۳۲۰	۱۳۸	۴۵۰	۱۱۱	۶۶۹	۵۱۹	۱۰۷۹	۱۲۲۵	۷۰۶	۳۸۰	۲۵۳۴	۹۱-۹۲
انتقال آب به بپرد	۳۱۰۸	۷/۸	۶۵	۴/۷	۵۸	۱۹۴	۲۳۹	۳۶۰	۳۷۹۷	۱۷۵	۳۹۸	۱۴۴	۷۱۶	-۵۰۹	۷۰۶	۸۹۶	۱۴۰۵	-۱۰	۲۳۵۹	۹۲-۹۳
آب ورودی به تالاب در ورزیه	۳۹۱۹	۷/۸	۶۵	۷/۲	۱۰۶	۲۲۶	۲۴۷	۶۸۶	۴۷۰۷	۱۱۴	۴۷۷	۲۲۲	۳۲۳	۱۱۴	۱۴۰۵	۱۵۲۶	۱۴۰۵	۵۸۲	۲۴۷۹	۹۳-۹۴
فاز آبی رودخانه و گردشگری از سرچشمه تا تالاب روش تانت و مونتانا	۳۵۴۶	۷/۸	۶۵	۷/۲	۷۶	۱۸۹	۲۵۶	۳۹۵	۴۲۸۶	۷۳	۳۸۴	۲۲۲	۷۸۶	۵۷	۱۳۲۵	۱۳۲۵	۱۳۲۵	۶۴۷	۲۲۹۸	۹۴-۹۵
تقاضای آب صنعت و معدن در زاینده رود																				
سراجه شرب به لیتر به روز*																				
تقاضای بخش شرب زاینده رود																				
جمع کل عرضه آب در حوضه زاینده رود																				
توزین چشمه انگان و خندانگستان																				
کانال دوم																				
کانال اول																				
انتقالی در توزین + انگان + خندانگستان																				
ذخیره سد																				
عرضه آب سطحی زاینده رود																				
آب ورودی به سد																				
خروجی آب از سد																				
برآورد طبیعی زاینده رود																				
عرضه آب زیرزمینی																				
سال آبی																				

ارقام به میلیون مترمکعب است. \*سراجه به لیتر به روز شامل مصرف خانگی، فضای سبز، تجاری و عمومی است.

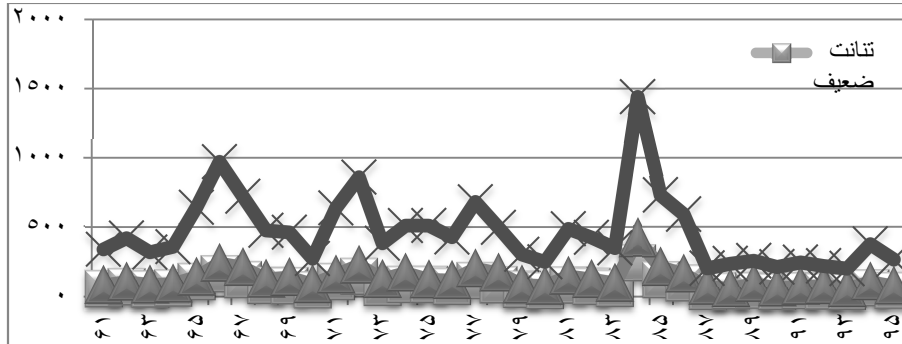
روش‌های کمی تعیین نیاز زیست‌محیطی رودخانه بر اساس این تفکر شکل گرفته‌اند که پس از احداث سد برای حفظ شرایط طبیعی رودخانه جریان حداقلی از آب، مورد نیاز است.

جدول ۳. درصد سهم از میانگین سالانه رودخانه جهت نیاز زیست‌محیطی در روش تنانت (مونتانا)

نیم سال اول سال آبی ۶ ماه دوم سال شمسی	نیم سال دوم سال آبی ۶ ماه اول سال شمسی	کیفیت حیات رودخانه
۱۰۰-۶۰	۱۰۰-۶۰	بهینه
۶۰	۴۰	بسیار عالی
۵۰	۳۰	عالی
۴۰	۲۰	خوب
۳۰	۱۰	قابل قبول
۱۰	۱۰	ضعیف
کوچک‌تر از ۱۰	کوچک‌تر از ۱۰	کمبود شدید

وزارت نیرو، ۱۳۸۶ مقیاس جدول: درصد

روش مونتانا یا تنانت (۱۹۷۶) بر پایه مطالعات گسترده و متداوم رودخانه‌های بزرگ و دایمی (بیشتر از ۱۰۰ کیلومتر طول) ایالت مرکزی- غربی آمریکا با برقراری رابطه بین جریان رودخانه و حفظ محیط‌زیست و حفظ طبیعت رپارین رودخانه توسعه داده شد. نیاز زیست‌محیطی زاینده رود و تالاب به حداقل آب مورد نیاز به عنوان حداقل نیاز اساسی (مانند ضریب گاما در تابع مصرف کلین- رویین) زیست‌محیطی رودخانه و تالاب (تعادل بیولوژیک) در نظر گرفته می‌شود. در این روش حداقل میزان رهاسازی به صورت درصد مشخصی از میانگین سالیانه دبی رودخانه بر اساس کیفیت مورد نظر محیط‌زیست رودخانه محاسبه می‌گردد. به منظور برآورد حق‌آبه طبیعی رودخانه و بخش گردشگری از روش مونتانا (تنانت) تحت سه سناریوی مختلف تنانت ضعیف، قابل قبول و بهینه در دوره ۱۳۶۱-۱۳۹۵ استفاده شد، که به ترتیب ۷۷/۷، ۱۳۰/۵ و ۴۶۶/۵ میلیون مترمکعب در سال برآورد شد. در این پژوهش به منظور صحت دقیق نتایج محاسبه نیاز محیط‌زیست و گردشگری زاینده‌رود، از داده‌های ماهیانه استفاده شد و سپس تبدیل به داده‌های سالیانه آبی شد.



نمودار ۱. حق آبه محیط زیست و گردشگری زاینده رود در سه سناریوی مختلف با روش مونتان (تنانت)  
منبع: یافته‌های پژوهش  
میلیون مترمکعب

### ۶. نتایج

میزان تخصیص آب زاینده رود به هر بخش از بخش‌های صنعتی، کشاورزی، آب شرب مصرفی، تالاب گاوخونی، انتقال به دیگر شهرها و سهم گردشگری رودخانه با استفاده از نظریه ورشکستگی اشاره شده در قسمت روش شناسی پژوهش، محاسبه و نتایج حاصل از روش‌های مختلف با یکدیگر مقایسه گردید. در جدول‌های شماره ۳، ۵ و ۷ میزان تخصیص به میلیون متر مکعب و در جدول‌های شماره ۴، ۶ و ۸ میزان درصد تخصیص ارائه شده است. سپس تخصیص بر اساس هر کدام از روش‌ها با میزان مطالبه هر بخش مقایسه شده است.

جدول ۴. میزان آب تخصیص یافته به هر بخش در سال ۱۳۹۵ (با در نظر گرفتن حداقل نیاز

رودخانه و گردشگری) میلیون متر مکعب

بخش	میزان مطالبه و نیاز	PRO	CEA	CEL	Tal	Ra
آب شرب مصرفی	۳۹۵	۳۸۹/۸۴	۳۹۵	۳۸۷/۴۸	۳۸۶/۷۶	۳۸۶/۲۷
کشاورزی	۲۷۶۱/۱۴	۲۷۲۵/۰۵	۲۷۱۶/۳۰	۲۷۵۳/۶۲	۲۷۵۲/۹۰	۲۷۵۲/۴۱
صنعتی	۱۴۸/۹۴۵	۱۴۶/۹۹	۱۴۸/۹۴	۱۴۱/۴۲	۱۴۰/۷۰	۱۴۰/۲۱
انتقالی	۷۲/۸	۷۱/۸۵	۷۲/۸۰	۶۵/۲۸	۶۴/۵۶	۶۴/۰۷
تالاب	۷/۲۴۸۱	۷/۱۵	۷/۲۵	۰	۳/۶۲	۶/۰۴
گردشگری (سهم رودخانه)	۴۴/۸۴۳۶	۴۴/۲۶	۴۴/۸۴	۳۷/۳۳	۳۶/۶۰	۳۶/۱۲

منبع: محاسبات پژوهش

در نمودار ۲ و جدول ۴، معیار مطالبه سهم گردشگری و نیاز رودخانه، حداقل نیاز ممکن در نظر گرفته شده است؛ بر اساس این معیار بجز بخش کشاورزی، در مابقی بخش‌ها روش CEA به میزان مطالبه هر کدام نزدیک‌تر است. البته علت این که در بخش کشاورزی CEA کمترین مقدار را به خود اختصاص داده است و از میزان ادعا و مطالبه این بخش فاصله زیادی دارد به نحوه توزیع بر اساس این قانون برشود.



نمودار ۲. مقایسه معیارهای مختلف میزان تخصیص به هر بخش در سال ۱۳۹۵ (با در نظر گرفتن حداقل نیاز رودخانه و گردشگری)

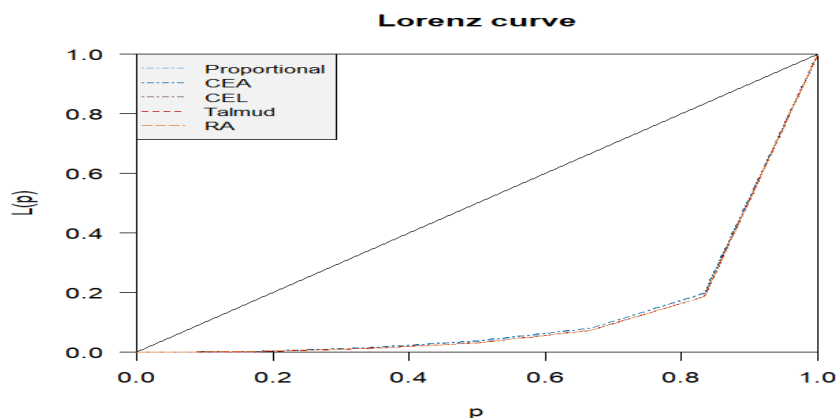
منبع: محاسبات پژوهش  
میلیون متر مکعب

طبق قانون CEA ابتدا کمترین درخواست موجود (سهم تالاب) برای همه بخش‌ها تخصیص داده می‌شود و سپس با حذف آن بخش، همین روند برای بقیه نیز در نظر گرفته می‌شود تا میزان منابع آبی زاینده رود به اتمام برسد. با توجه به این که بخش کشاورزی نسبت به بقیه بخش‌ها، سهم بسیار بیشتری از موجودی منابع آبی زاینده رود را به خود اختصاص می‌دهد، هر میزانی که در نهایت باقی مانده به بخش کشاورزی رسیده است. همچنین برای همه بخش‌ها، بجز بخش تالاب، میزان تخصیص توسط قوانین CEL و Tal، تقریباً مشابه هم می‌باشند. علت این امر نیز به تشابه تخصیص این قوانین در این مساله برسد. از آنجا که موجودی منابع آبی زاینده رود در سال ۱۳۹۵، ۳۳۸۵/۱۳ میلیون متر مکعب بوده و این مقدار بیش از نیمی از مجموع نیازهاست، پس همه نیمی از تقاضای خود را دریافت کرده و برای باقی مانده تقاضا، قانون CEL اجرا می‌شود. بنابراین در این مساله خاص CEL و Tal مشابه هم عمل می‌کنند. با این تفاوت که Tal ابتدا نصف تقاضاها را تخصیص داده و سپس CEL را اجرا می‌کند. قانون CEL بر عکس CEA اولویت را به تقاضاهای بیشتر می‌دهد؛ به همین دلیل بیشترین درصد تخصیص به بخش کشاورزی (۹۹/۷۲ درصد) و کمترین درصد تخصیص نیز به بخش تالاب (صفر درصد) داده شده است.

جدول ۵. ضریب جینی توزیع آب زاینده‌رود براساس مدل‌های مختلف نظریه ورشکستگی (با لحاظ حداقل نیاز رودخانه و گردشگری)

<i>Ra</i>	<i>Tal</i>	<i>CEL</i>	<i>CEA</i>	<i>PRO</i>	
۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۷۲	۰/۷۲	ضریب جینی توزیع

منبع: محاسبات پژوهش



نمودار ۳. منحنی لورنز توزیع آب زاینده رود بر اساس مدل‌های مختلف نظریه ورشکستگی (با لحاظ حداقل نیاز رودخانه و گردشگری)

منبع: محاسبات پژوهش

با توجه به جدول ۵ و نمودار ۳، به منظور ارزیابی و انتخاب روش یا روش‌های مناسب‌تر، از شاخص ضریب جینی و منحنی لورنز می‌توان استفاده کرد. در مساله تخصیص آب زاینده رود به نظر می‌رسد در حالت کلی، روش‌های قانون نسبی (PRO) و CEA نابرابری کمتری در تخصیص منابع آبی زاینده رود به بخش‌های مختلف نسبت به سه قانون دیگر دارند. البته در قانون نسبی، درصد تخصیص بر اساس تقاضای اعلام شده به طور کاملاً یکسان بین همه بخش‌ها توزیع می‌شود و طبیعی است که توزیع عادلانه‌تری نسبت به بقیه باشد. در این مساله قانون CEA نیز نسبت به بقیه توزیع با نابرابری کمتری را نشان می‌دهد. در جدول ۵ و نمودار ۴، محاسبات تخصیص آب زاینده رود به بخش‌های مختلف بر اساس سناریوی دوم سهم گردشگری و رودخانه تکرار شده است. در این قسمت حق آبه محیط‌زیست و گردشگری بر اساس روش تنانت قابل قبول، ۷۶/۱۶۴۵ میلیون متر مکعب در نظر گرفته شده است.

جدول ۵. میزان آب تخصیص یافته به هر بخش در سال ۱۳۹۵ (با در نظر گرفتن متوسط نیاز رودخانه و گردشگری) میلیون متر مکعب

بخش	میزان مطالبه و نیاز	PRO	CEA	CEL	Tal	Ra
آب شرب مصرفی	۳۹۵	۳۸۶/۳۱	۳۹۵	۳۸۱/۲۲	۳۸۰/۴۹	۳۷۹/۹۰
کشاورزی	۲۷۶۱/۱۴	۲۷۰۰/۳۹	۲۶۸۴/۹۸	۲۷۴۷/۳۶	۲۷۴۶/۶۳	۲۷۴۶/۰۴
صنعتی	۱۴۸/۹۴۵	۱۴۵/۶۶	۱۴۸/۹۴	۱۳۵/۱۶	۱۳۴/۴۳	۱۳۳/۸۴
انتقالی	۷۲/۸	۷۱/۲	۷۲/۸	۵۹/۰۲	۵۸/۲۹	۵۸/۳۷
تالاب	۷/۲۴۸۱	۷/۰۹	۷/۲۵	۰	۳/۶۲	۵/۹۳
گردشگری (سهم رودخانه)	۷۶/۱۶۴۵	۷۴/۴۹	۷۶/۱۶	۶۲/۳۸	۶۱/۶۶	۶۱/۰۶

منبع: محاسبات پژوهش

بر اساس این سناریو نیز، بجز بخش کشاورزی، در مابقی بخش‌ها روش CEA به میزان مطالبه هر کدام نزدیک‌تر است. همچنین برای همه بخش‌ها، بجز بخش تالاب، میزان تخصیص توسط قوانین CEL و Tal، تقریباً مشابه هم می‌باشند. براساس قانون CEL، هیچگونه حق آبه‌ای به تالاب نخواهد رسید. بیشترین درصد تخصیص سهم گردشگری از میزان مورد نیاز، توسط CEA و کمترین درصد تخصیص توسط RA محاسبه شده است.





نمودار ۴. مقایسه معیارهای مختلف میزان تخصیص به هر بخش در سال ۱۳۹۵ (با در نظر گرفتن متوسط نیاز رودخانه و گردشگری)

منبع: محاسبات پژوهش میلیون متر مکعب

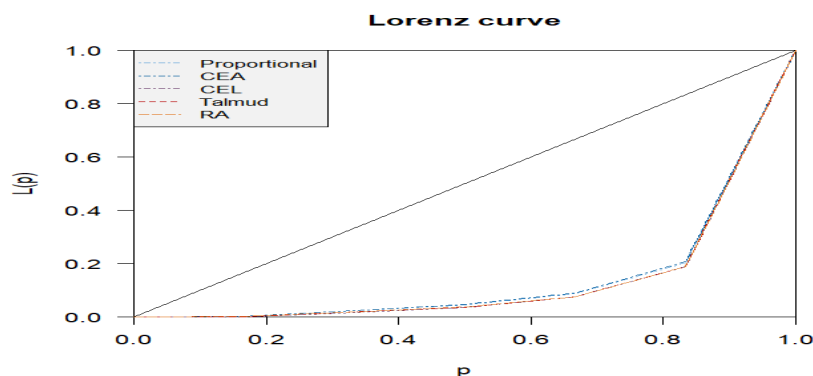
جدول ۶. ضریب جینی توزیع آب زاینده رود بر اساس مدل‌های مختلف نظریه ورشکستگی (با لحاظ متوسط نیاز رودخانه و گردشگری)

<i>Ra</i>	<i>Tal</i>	<i>CEL</i>	<i>CEA</i>	<i>PRO</i>	
۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۷۱	۰/۷۱	ضریب جینی توزیع

منبع: محاسبات پژوهش

با توجه به جدول ۶ و نمودار ۵، مجدداً به منظور ارزیابی و انتخاب روش یا روش‌های مناسب‌تر، از شاخص ضریب جینی و منحنی لورنز استفاده شده است. در مساله تخصیص

آب زاینده رود به نظر می رسد در این حالت نیز، روش های قانون نسبی (PRO) و (CEA) نابربری کمتری در تخصیص منابع آبی زاینده رود به بخش های مختلف نسبت به سه قانون دیگر دارند.



نمودار ۵. منحنی لورنز توزیع آب زاینده رود بر اساس مدل های مختلف نظریه ورشکستگی (با لحاظ نیاز متوسط رودخانه و گردشگری)

منبع: محاسبات پژوهش

در نهایت در جدول ۷ و نمودار ۶، تخصیص آب زاینده رود به بخش های مختلف بر اساس سناریوی سوم سهم گردشگری و رودخانه محاسبه و ارائه شده است. در این قسمت حق آبه محیط زیست و گردشگری بر اساس تنانت بهینه، ۲۶۹/۰۶۱۷ میلیون متر مکعب در نظر گرفته شده است.

جدول ۷. میزان آب تخصیص یافته به هر بخش در سال ۱۳۹۵ (با در نظر گرفتن نیاز رودخانه و گردشگری در حد بهینه)

$Ra$	$Tal$	$CEL$	$CEA$	$PRO$	میزان مطالبه و نیاز	بخش
۳۲۴/۴۰	۳۳۷/۷۴	۳۴۲/۶۴	۳۹۵	۳۶۵/۹۲	۳۹۵	آب شرب مصرفی
۲۶۹۰/۵۴	۲۷۰۳/۸۸	۲۷۰۸/۷۸	۲۴۹۲/۰۸	۲۵۵۷/۸۴	۲۷۶۱/۱۴	کشاورزی
۱۱۱/۷۰	۹۱/۶۸	۹۶/۵۸	۱۴۸/۹۴	۱۳۷/۹۷	۱۴۸/۹۴۵	صنعتی
۵۴/۶۰	۳۶/۴۰	۲۰/۴۴	۷۲/۸	۶۷/۴۴	۷۲/۸	انتقالی
۵/۴۴	۳/۶۲	۰	۷/۲۵	۶/۷۱	۷/۲۴۸۱	تالاب
۱۹۸/۴۶	۲۱۱/۸۰	۲۱۶/۷۰	۲۶۹/۰۶	۲۴۹/۲۵	۲۶۹/۰۶۱۷	گردشگری (سهم رودخانه)

منبع: محاسبات پژوهش  
میلیون متر مکعب

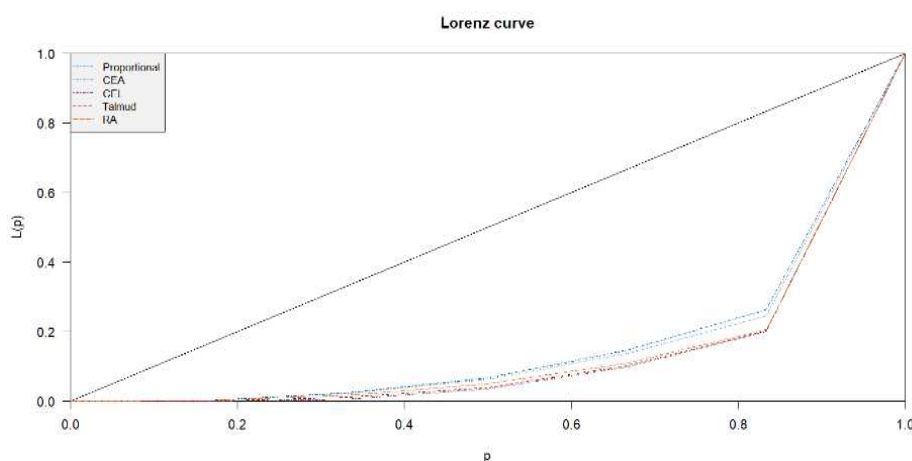


نمودار ۶. مقایسه معیارهای مختلف میزان تخصیص به هر بخش در سال ۱۳۹۵ (با در نظر گرفتن نیاز بهینه رودخانه و گردشگری)

منبع: محاسبات پژوهش  
میلیون متر مکعب

به هر حال نکته‌ای که لازم است ذکر شود این که، قوانین فوق هر کدام سعی می‌کنند منابع آبی ناکافی زاینده رود را به طور عادلانه و منصفانه بین تقاضاکنندگان و مدعیان تقسیم کند، اما از آنجا که تعاریف متفاوتی از تساوی و عدالت وجود دارد؛ روش‌های متفاوت، نتایج متفاوتی را ارائه می‌کند. در چنین شرایطی برای ارائه بهترین تخصیص باید علاوه بر اساس هر روش به ماهیت مساله موجود نیز توجه داشت (میرشفیعی و همکاران،

۱۳۹۴). انجام مطالعات اجتماعی و شناخت بهتر منطقه شرط لازم برای شناسایی روش مناسب است. آنچه مقاله حاضر به آن تاکید می‌کند تخصیص عادلانه و علمی منابع ناکافی آب زاینده رود به بخش‌های مختلف و لحاظ کردن سهم گردشگری و رودخانه است؛ مسأله‌ای که کمبود آن در چند سال اخیر به شدت احساس می‌شود.



نمودار ۷. منحنی لورنز توزیع آب زاینده‌رود بر اساس مدل‌های مختلف نظریه ورشکستگی (با در نظر گرفتن نیاز بهینه رودخانه و گردشگری)

منبع: محاسبات پژوهش

جدول ۸. ضریب جینی توزیع آب زاینده‌رود بر اساس مدل‌های مختلف نظریه ورشکستگی (با لحاظ نیاز بهینه رودخانه و گردشگری)

<i>Ra</i>	<i>Tal</i>	<i>CEL</i>	<i>CEA</i>	<i>PRO</i>	
۰/۷۱	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۶۷	۰/۶۸	ضریب جینی توزیع

منبع: محاسبات پژوهش

## ۷. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

خشکسالی‌های چند سال اخیر، به ویژه در منطقه اصفهان و حوزه آبریز زاینده رود باعث شده تا مناقشه جدی بر سر تخصیص منابع آب ناکافی زاینده رود صورت گیرد. این مناقشه حتی تا بدانجا پیش رفت که گاهی رنگ و بوی سیاسی و امنیتی نیز به خود گرفته است. از طرف دیگر، بستن رودخانه زاینده رود و خشکی رودخانه، علاوه بر ناخوشایندی ظاهری و فقدان طراوت قبلی و زیبایی شهری، آثار مخرب و زیانباری بر اقتصاد شهری اصفهان به‌ویژه در حوزه گردشگری داشته است. در نظر گرفتن مقادیری از منابع آبی رودخانه به عنوان سهم گردشگری و خود رودخانه زاینده رود از موضوعات مهم مدیریت شهری اصفهان است. در این مقاله نحوه تخصیص منابع ناکافی آب زاینده رود در سال ۱۳۹۵ به ۶ بخش عمده آب شرب مصرفی، کشاورزی، صنعتی، تالاب، انتقال به یزد و کاشان و سهم گردشگری با استفاده از نظریه بازی‌های همکارانه و نظریه ورشکستگی و استفاده از ۵ روش مختلف تخصیص (قانون نسبی (PRO)، CEA، CEL، Tal و Ra) ارزیابی گردید. به منظور برآورد حق‌آبه طبیعی رودخانه و بخش گردشگری از روش مونتان (تنانت) تحت سه سناریوی مختلف تنانت ضعیف، قابل قبول و بهینه در دوره ۱۳۶۱-۱۳۹۵ استفاده شد، که به ترتیب نیاز رودخانه یا همان تقاضای بخش گردشگری ۷۷/۷، ۱۳۰/۵ و ۴۶۶/۵ میلیون مترمکعب در سال برآورد شد. نتایج پژوهش نشان داد که در هر سه سناریو روش CEA، مطلوب‌ترین روش برای ۵ بخش (به جز بخش کشاورزی) بود علت این امر به نحوه توزیع بر اساس این قانون است. طبق قانون CEA ابتدا کمترین درخواست موجود (سهم تالاب) برای همه بخش‌ها تخصیص داده می‌شود و سپس با حذف آن بخش، همین روند برای بقیه نیز در نظر گرفته می‌شود تا میزان منابع آبی زاینده رود به اتمام برسد. با توجه به این که بخش کشاورزی نسبت به بقیه بخش‌ها، سهم بسیار بیشتری از موجودی منابع آبی زاینده رود را به خود اختصاص می‌دهد، هر میزانی که در نهایت باقی مانده به بخش کشاورزی رسیده است. همچنین برای همه بخش‌ها، بجز بخش تالاب، میزان تخصیص توسط قوانین CEL و Tal، تقریباً مشابه هم می‌باشند. علت این امر

نیز به تشابه تخصیص این قوانین در این مساله برسد. از آنجا که موجودی منابع آبی زاینده رود در سال ۱۳۹۵، ۳۳۸۵/۱۳ میلیون متر مکعب بوده و این مقدار بیش از نیمی از مجموع نیازها است، پس همه بخش‌ها نیمی از تقاضای خود را دریافت کرده و برای باقی مانده تقاضا، قانون CEL اجرا می‌شود. بنابراین در این مساله خاص CEL و Tal مشابه هم عمل می‌کنند. با این تفاوت که Tal ابتدا نصف تقاضاها را تخصیص داده و سپس CEL را اجرا می‌کند. قانون CEL بر عکس CEA اولویت را به تقاضاهای بیشتر می‌دهد؛ به همین دلیل بیشترین درصد تخصیص به بخش کشاورزی (۹۹/۷۲ درصد) و کمترین درصد تخصیص نیز به بخش تالاب (صفر درصد) داده شده است. همچنین به منظور ارزیابی و انتخاب روش یا روش‌های مناسب‌تر، از شاخص ضریب جینی و منحنی لورنز می‌توان استفاده کرد. در مساله تخصیص آب زاینده رود به نظر می‌رسد در حالت کلی، روش‌های قانون نسبی (PRO) و CEA نابرابری کمتری در تخصیص منابع آبی زاینده رود به بخش‌های مختلف نسبت به سه قانون دیگر دارند. البته در قانون نسبی، درصد تخصیص بر اساس تقاضای اعلام شده به طور کاملاً یکسان بین همه بخش‌ها توزیع می‌شود و طبیعی است که توزیع عادلانه‌تری نسبت به بقیه باشد؛ اما در این مساله خاص قانون CEA نیز نسبت به بقیه توزیع با نابرابری کمتری را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج پژوهش به دلیل کاهش عرضه مستمر آب در حوضه زاینده‌رود و افزایش شدید تقاضا به دلایل مختلف ذکر شده، که منجر به شکاف تقاضای مزمن و فزاینده شده است، پیشنهاد شد سیاست‌گذاران در حوضه آبریز زاینده‌رود از روش‌های مختلف تئوری ورشکستگی به منظور تخصیص منابع آب زاینده‌رود بین تقاضاهای ناسازگار استفاده نمایند تا نابرابری در توزیع به سمت صفر میل نماید. در پایان برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود، روش‌های دیگری از نظریه ورشکستگی همچون پاینال و یا از محاسبات دیگری چون نوکلئوس نیز استفاده شود.

### تقدیر و تشکر

این مقاله استخراجی از طرح پژوهشی با عنوان " کاربرد تئوری ورشکستگی و تقاضاهای ناسازگار در حل مناقشه تخصیص منابع آب زاینده‌رود " با حمایت مالی دانشگاه آیت ... بروجردی است که با کد "۱۷۰۰۵۴-۱۵۶۶۴" در سامانه سمات ثبت گردیده است.

### منابع و مأخذ

- Abdoli, Gh. (1395). Game theory and its applications (static and dynamic games with complete information), Jihad Daneshgahi Publications: 454. (In Persian)
- Akbari, N., Niksokhan, M., Ardestani, M. (2014). Optimization of Water Allocation using Cooperative Game Theory Case Study: Zayandehrud Basin. *Journal of Environmental Studies*, 40(4), 875-889. doi: 10.22059/jes.2014.53004. (In Persian)
- Ansink, E. 2009. Game-theoretic models of water allocation in transboundary river basins, Wageningen University.
- Aumann RJ, Maschler M (1985). Game Theoretic Analysis of a bankruptcy from the Talmud." *Journal of Economic Theory*, 36, 195(213).
- Becker, N., Easter, K.W., (1995). Water diversions in the great lakes basin analyzed in a game theory framework. *Water Resources Management* 9 (3).
- Cano-Berlanga, S., Giménez-Gómez, J.M., Vilella, C. (2017). Enjoying cooperative games: The R package GameTheory. Project ECO2011-22765.
- Danesh yazdi, M., Abrishamchi, A., Tajrishy, M. (2014). Conflict Resolution of Water Resources Allocations Using the Game Theoretic Approach: The Case of Orumieh River Basin. *Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab ( in persian )*, 25(2), 48-57. (In Persian)
- DeCanio, S. J., & Fremstad, A. (2013). Game theory and climate diplomacy. *Ecological Economics*, 85, 177-187.
- Dinar, A. (2004). Exploring transboundary water conflict and cooperation. *Water Resources Research* 40 (5), W05S01. doi:10.1029/2003WR002598.
- Dufournaud, C.M., 1982. On the mutually beneficial cooperative scheme: dynamic change in the payoff matrix of international river basin schemes. *Water Resources Research* 18 (4), 764-772.
- Elimam, L., Rheinheimer, D., Connell, C., Madani, K., (2008). An ancient struggle: a game theory approach to resolving the Nile conflict. In: Babcock, R.W., Walton, R. (Eds.), *Proceeding of the 2008 World Environmental and Water Resources Congress, Honolulu, Hawaii*. American Society of Civil Engineers, pp. 1-10.

- Farhadi, S.; Nikoo, M.R.; Rakhshandehroo, G.R.; Akhbari, M; Alizadeh, M.R. (2016). An agent-based-nash modeling framework for sustainable groundwater management: A case study. *Agric. Water Manag*, 177, 348–358.
- Fernandez, L., (2009). Wastewater pollution abatement across an international border. *Environment and Development Economics* 14 (1), 67.
- Fisvold, G.B., Caswell, M.F., (2000). Transboundary water management: gametheoretic lessons for projects on the US–Mexico border. *Agricultural Economics* 24, 101–111.
- Hajjian, N., Hajjian, P. (2013). Zayandeh Rood database, along with graphical analysis, ready for publication. (In Persian)
- Han, Q., Tan, G., Fu, X., Mei, Y., & Yang, Z. (2018). Water resource optimal allocation based on multi-agent game theory of HanJiang river basin. *Water*, 10(9), 1184.
- Iran Water Resources Management Company (2018). Daily reports of hydrometric stations and groundwater resources. (In Persian)
- Jalili Kamjo, P. (2018). Assessing the Nonlinear Relationship between Water and Economic Growth in the Provinces of Iran: Application of SAR model, *Quarterly Journal of Natural Environment*, University of Tehran, in the print run of 2020. (In Persian)
- jalili kamjoo, S., khoshakhlagh, R. (2016). Using the game theory in optimal allocation of water in Zayandehrud. *Journal of Applied Economics Studies in Iran*, 5(18), 53-80. doi: 10.22084/aes.2016.1494. (In Persian)
- Jalili Kamju, S. (2016). Application of Mechanism Design and Matching Theory to Water Market Design: An Institutional Approach. *Journal of Economics and Modeling*, 7(26), 121-158. (In Persian)
- Jalili Kamju, S. (2018). Economic Value Evaluation of Underground Water Extract by Farmers. *Environmental Researches*, 9(17), 95-110. (In Persian)
- Khochian, R., Jalili Kamjo, S. (2019). Evaluation of kernel Causality between Groundwater Extraction and Economic Growth: Application of Nadaraya-Watson kernel Regression Model. *Irrigation and Water Engineering*, 9(4), 147-159. doi: 10.22125/iwe.2019.90260. (In Persian)



- Kicsiny, R., & Varga, Z. (2019). Differential game model with discretized solution for the use of limited water resources. *Journal of Hydrology*, 569, 637-646.
- Kucukmehmetoglu, M. (2012). An integrative case study approach between game theory and Pareto frontier concepts for the trans boundary water resources allocations, *Journal of Hydrology* 450– 451(0): 308-319.
- Kucukmehmetoglu, M., Guldmen, J., (2004). International water resources allocation and conflicts: the case of the euphrates and tigris. *Environment and Planning A*, 36 (5): 783–801.
- Liu, B., Huang, J. J., McBean, E., & Li, Y. (2020). Risk assessment of hybrid rain harvesting system and other small drinking water supply systems by game theory and fuzzy logic modeling. *Science of The Total Environment*, 708: 134-156.
- Loaiaciaga, H. (2004). Analytical game theoretic approach to groundwater extraction. *Journal of Hydrology*, 297: 22–33.
- Madani, K. & Hipel, W. (2011). Non-cooperative stability definitions for strategic analysis of generic water resources conflicts. *Water resources management*, 25(8):1949-1977.
- Madani, K. (2010). Game theory and water resources. *Journal of Hydrology*, 381: 25-38.
- Madani, K., Hipel, K.W., (2007). Strategic insights into the Jordan River conflict. In: Kabbes, K.C. (Ed.), *Proceeding of the 2007 World Environmental and Water Resources Congress*, Tampa, Florida. American Society of Civil Engineers, 1– 10.
- Madani, K.; Zarezadeh, M.; Morid, S. (2014). A new framework for resolving conflicts over transboundary rivers using bankruptcy methods. *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 18, 3055–3068.
- Mahmoudinia D, Engwerda J, Dallali Esfahani R, Bakhshi Dastjerdi R, Fakhari M.(2016). Strategic Interaction Between Government and Central Bank in Framework of Cooperative and Non-Cooperative Games. *jemr*. 6 (24) :83-121. (In Persian)
- Mazandaranzade, H., Ghaheri, A., Abdoli, Gh.(2018). A conflict resolution model among municipal and agricultural users by game theory for sustainable operation of a common aquifer. *Agricultural Economics and Development*, 17(68), 77-102. .(In Persian)

- Mirshafee, S., Ansari, H., Mianabadi, H. (2015). Bankruptcy Methods in Transboundary Rivers Allocation Problems Case study : (Atrak river). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 9(4), 594-604. (In Persian)
- O'Neill B (1982). \A problem of rights arbitration from the Talmud." *Mathematical Social Sciences*, 2(4), 345(371).
- Office of Basic Studies of Water Resources (1397). Isfahan Regional Water Company. (In Persian)
- Owen, G. (1995). *Game theory*, 3rd Edition, Academic Press, New York, NY, USA.
- Pourkazemi, M.H., Valinejad, M. (2014). Application of Game Theory for Water Resources Management between Industry and Agriculture Sectors in Isfahan Province (The Case of: Zayande- Rud River), *Journal of Economic Modeling Research*, 4(15), 1-42. (In Persian)
- Poursapahi, H., Karachian, R. (2010). Water allocation in common rivers: application of game theory, 6th National Congress of Civil Engineering, Semnan, Semnan University. (In Persian)
- Pourzand, F., Zibaei, M. (2012). Application of game theory for the optimal groundwater extraction in Firozabad plain. *Agricultural Economics*, 5(4), 1-24. (In Persian)
- Rahimi, M.A., Shurian, M., Noorzad, A. (2016). Water Resource Allocation Planning Using Game Theory Approach, 6th National Conference on Water Resources Management, Iran, Kurdistan, Kurdistan University. (In Persian)
- Rathi, S., Ghavami, B. (2018). Comparison of the application of cooperative and non-cooperative approaches to game theory in order to resolve water resources disputes. Third National Conference on Conservation of Natural Resources and Environment. (In Persian)
- Rogers, P. (1969). A game theory approach to the problems of international river basins. *Water Resources Research*, 5(4): 749-760.
- Safari, N., Zarghami, M. & Szidarovszky, F. (2014). Nash bargaining and leader-follower models in water allocation: Application to the Zarrinehrud River basin, Iran. *Applied Mathematical Modeling*, 38: 1959-1968.

- Safavi, H., Rastghalam, M. (2017). Solution to the Water Crisis in the Zayandehrud River Basin; Joint Supply and Demand Management. *Iran Water Resources Research*, 12(4), 12-22. (In Persian)
- Sheikhmohammady, M., Madani, K. (2010). Bargaining over the Caspian Sea—the largest Lake on the earth. In: Babcock, R.W., Walton, R. (Eds.), *Proceeding of the 2008 World Environmental and Water Resources Congress*, Honolulu, Hawaii. American Society of Civil Engineers, pp. 1–9.
- Shouke Wei, M.A. (2008). On the use of game theoretic models for water resources management, Brandenburg university of Technology in Cottbus, Ph.D. Thesis.
- Siehlow, M., Reif, J., von Hirschhausen, C., Dreuse, A., Koschker, S., Schneider, S., & Werner, R. (2012). Using Methods of Cooperative Game Theory for Water Allocation Management in the Orange Senqu River Basin. In *European Association of Environmental and Resource Economists 19th Annual Conference*. Prague.
- SobuhiM., & MojaradE. (2010). Application of Game Theory for Groundwater Resources Management of Atrak. *Agricultural Economics & Development*, 24(1). (In Persian)
- Statistics Center of Iran (2018). *Statistical yearbook of Isfahan province and Chaharmahal and Bakhtiari province*. (In Persian)
- Supalla, R., Klaus, B., Yeboah, O., Bruins, R. (2002). A game theory to deciding who will supply in stream flow water. *American Water Resources Association* 38 (4): 959–966.
- Wang, L. (2007). Basin-wide cooperative water resources allocation, *European Journal of Operational Research* doi:10.1016/j.ejor.2007.06.045.
- Wang, L. Z., Fang, L. & Hipel, K. W. (2003). Water resources allocation: A cooperative game theoretic approach. *Journal of Environmental Informatics* 2 (2): 11-22.
- Zarezadeh, M., Madani, K., Morid, S. (2013). Resolving conflicts over trans-boundary rivers using bankruptcy methods. In: *Hydrology and Earth System Sciences*. Discuss. 10: 13855- 13887.
- Zarghami, M., Safari, N. (2013). Optimum Water Allocation for Agricultural Section of Zarrinehrud River by Non-Symmetric Nash Modeling. *Agricultural Economics*, 7(2), 107-125. (In Persian)

- Zeng, Y., Li, J., Cai, Y., Tan, Q., & Dai, C. (2019). A hybrid game theory and mathematical programming model for solving trans-boundary water conflicts. *Journal of Hydrology*, 570, 666-681.

# Application of the Bankruptcy Theory and Conflicting Claims on Water Resources Allocation of Zayanderud

Seyed Parviz Jalili Kamju<sup>1</sup>, Ramin Khochiani<sup>2</sup>

Received: 2019/04/17 Accepted: 2020/04/10

## Abstract

Solving the Water conflict and optimal allocation of common water resources are the most important service of cooperative game theory to water economics. Zayandehrud basin is the most important disputed basin in several neighboring provinces in the first class basin of Iran's central plateau. The purpose of this research is to use the game theory with application of Bankruptcy approach (conflicting claims) in order to optimally allocate surface and underground water resources in the Zayandehrud basin, with regard to Zayandehrud need (tourism sector demand), water transfer to Yazd and Kashan, Gavkhoni wetland water use and demand of three sectors: drinking, mining, and agriculture. In order to estimate the river natural water right (tourism sector demand), the Montana method (tenant) was used under three different scenarios: weak, acceptable and optimal tenant during the period 1963-2017, which was 77.7, 130.5, and 466.5 m<sup>3</sup> respectively yearly estimated. The conflicting claims theory in various scenarios for the river water right (tourism sector) showed that in all three proposed scenarios based on five different bankruptcy theory rules, Proportional, Constrained Equal Wards, Constrained Equal Losses, Talmud, Random Arrival, CEA rule was the most desirable method for 5 sectors (except agriculture). In order to choose a more equitable method, the Gini coefficient and the Lorenz curve were used which indicated that CEA rule has less inequality than other rules. Thus, regard to the increasing demand gap in the Zayandehrud Basin, water allocation based on the criteria of bankruptcy theory is proposed.

**Keywords:** Game theory, conflicting claims, Bankruptcy theory, Tennant, Zayanderud.

**JEL Classification:** C22, Q25

---

1 . Assistant Professor at Department of Economics, Ayatollah Borujerdi University, Iran, (Corresponding Author), Email: parviz.jalili@abru.ac.ir

2 . Assistant Professor at Department of Economics, University of Ayatollah Borujerdi, Iran, Email: ramin.khochiani@abru.ac.ir