سال هفتم، شماره ٤، ١٣٩٩، صفحات ٢١ تا ٣٠
نشریه آب و توسعه پایدار

2021, Vol.7, No.4, Pages 21 to 30
Journal of Water and Sustainable Development

نوع مقاله: روش‌شناسی/ کاربردی

به‌کارگیری روش چانه‌زنی نش نامتقارن جهت تخصیص بهینه منابع آبی مشترک در شرایط ورشکستگی

معین ایرانشاهی[۱]، صفر معروفی[۲*]، امید نصیری قیداری[۳]

۱ و۲- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی منابع آب و استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ایران. ۳- دکترا مهندسی منابع آب، کارشناس سازمان آب منطقه‌ای استان زنجان، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: Marofisafar59@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۶/۰۳
تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۷/۰۹

چکیده

تحت شرایط کمبود آب ناشی از محدودیت منابع آب و بهره‌برداری بی‌رویه، مدیریت مبتنی بر مشخصه‌های انعطاف‌پذیری، عدالت و پایداری منابع آب می‌تواند نقش مهمی در جلوگیری از ادامه روند بحران‌زا و کاهش نزاع آب‌بران ایفا نماید. در این پژوهش با استفاده ترکیبی از مفاهیم ورشکستگی و چانه‌زنی نش نامتقارن، به ارائه چارچوب تخصیص بهینه منابع آبی مشترک پرداخته شد. حوضه آبریز اترک شامل استان‌های گلستان، خراسان‌های شمالی و رضوی به‌عنوان مطالعه موردی منظور شد. ابتدا به‌وسیله مدل بهینه‌سازی نش در حالت متقارن و نامتقارن تخصیص آب در این حوضه صورت پذیرفت، در کنار این مدل از روش‌های متداول در رویکرد ورشکستگی نیز استفاده شد و با مدل چانه‌زنی نش مقایسه شد. نتایج نشان داد با لحاظ مفروضات مختلف، مدل چانه‌زنی پیشنهادی قادر به پوشش نتایج قوانین ورشکستگی متداول می‌باشد. همچنین دخیل نمودن پتانسیل آب تولیدی در تعیین وزن آب‌بران در مدل چانه‌زنی نش نامتقارن می‌تواند گام مهمی در جهت تخصیص عادلانه‌تر آب باشد و در این حالت تخصیص آب استان‌های گلستان و خراسان‌های شمالی و رضوی به‌ترتیب ۱۳۸، ۹۰۲ و ۱۷۴ میلیون متر مکعب در سال می‌شود. با انجام تحلیل حساسیت، نتایج نشان داد، با تغییر وزن نسبی، رتبه درصد تأمین آب آب‌بران دچار تغییر می‌شود. یافته‌های تحقیق حاکی از آن است که مدل انعطاف‌پذیر پیشنهادی با فراهم نمودن امکان مذاکره، می‌تواند ابزار مدیریتی کارایی جهت حل مسائل کلان تخصیص منابع آب مشترک به‌شمار رود.

واژه‌های کلیدی: تحلیل حساسیت، تخصیص آب، چانه‌زنی نش، حوضه اترک، ورشکستگی.

Article Type: Methodology\ Applied

Application of the Asymmetric Nash Bargaining Method to Optimal Allocation of Shared Water Resources under Water Bankruptcy Condition

M. Iranshahi[1], S. Marofi[2*], O. Nasiri Gheidaei[3]

1,2- Graduate of Master of Water Resources Engineering and Professor of Water Science and Engineering, Bu Ali Sina University, Hamadan, Iran. 3- PhD in Water Resources Engineering and expert of Zanjan Regional Water Organization, Iran.

*(Corresponding Author Email: Marofisafar59@gmail.com)

Received: 24-08-2020
Accepted: 30-09-2020

Abstract

Under conditions of water scarcity due to limited water resources and improper exploitation, management based on the characteristics of flexibility, equity and sustainability of water resources can play an important role in preventing the continuation of the crisis and the reduction of water conflicts. In this study, using a combination of bankruptcy and asymmetric Nash bargaining concepts, the framework was presented for the optimal allocation of shared water resources. The Atrak basin including Golestan, North Khorasan and Razavi Khorasan provinces was considered as a case study. First, water allocation in this basin was done by Nash optimization model in symmetric and asymmetric states. In addition to this model, common methods in the bankruptcy approach were used and compared with Nash bargaining model. The results showed that in terms of different assumptions, the proposed bargaining model is able to cover the results of common bankruptcy laws. Also, the involvement of water production potential in determining water weight can be an important step towards more equitable water allocation. In this case, water allocation of Golestan, North Khorasan and Razavi Khorasan provinces is 138, 902 and 174 million cubic meters per year, respectively. The results of sensitivity analysis indicated that with relative weight change, the percentage of water supply changed. The research findings suggest that the proposed flexible model, by providing negotiation capabilities, can be considered as an effective management tool for solving common problems of shared water resources allocation.

Keywords: Sensitivity Analysis, Water Allocation, Nash Bargaining, Atrak Basin, Bankruptcy.

DOI: 10.22067/jwsd.v7i4.88321

مقدمه

در سال‌های اخیررشد جمعیت،راندمان پایین مصرف آب و بهبود سطح زندگی انسان‌ها منجر به افزایش روز افزون تقاضای آب و برداشت بی‌رویه از منابع آب شده است. باتوجه‌به محدودیت منابع آب در دسترس، افزایش برداشت از منابع آب، بسیاری از حوضه‌ها را با مشکل کمبود آب مواجه نموده است. به دلیل وجود ذی‌نفعان مختلف با رویکردهای متفاوت در حوضه‌های مشترک مرزی، مشکلات این حوضه‌ها به نسبت بیشتر بوده و تأمین تقاضای آب موجود در این مناطق با چالش بیشتری همراه است. براین‌اساس، تخصیص بهینه منابع آب در این حوضه‌ها براساس مذاکرات و همکاری‌های منطقه‌ای، می‌تواند نقش قابل توجه در کاهش نزاع‌های آتی ایفا نماید.

در دنیا ۲۷۶ حوضه مشترك بین‌المللی وجود دارد که بسیاری از آن‌ها با تغییرات هیدرولوژیکی مواجه هستند. باتوجه‌به کاهش منابع آب‌های مرزی و فزونی میزان تقاضا نسبت به منابع آبی موجود، درگیری در بین ذی‌نفعان و آب‌بران در حال افزایش است. عامل اصلی این درگیری‌ها به‌ویژه در مناطق خشک ونیمه‌خشک، مسئله نحوه تخصیص آب می‌باشد (Wolf، ۱۹۹۹). مطالعات متعددی در زمینه تخصیص آب‌های مرزی صورت پذیرفته‌است. برخی از آن‌ها مسئله را صرفاً از جنبه اقتصادی بررسی کرده‌اند (Kucukmechetoglu و Guldmann، ۲۰۰۴) درحالی‌که برخی دیگر، جنبه‌های اجتماعی، سیاسی و یا محیطی را نیز لحاظ نموده‌اند (Roozbahani و همکاران، ۲۰۱۵، Fisher و همکاران، ۲۰۰۲).

توزیع آب در شرایط کمبود آب با مسائل ورشکستگی مشابه می‌باشد. ورشکستگی مفهومی اقتصادی است که در آن مقدار منابع موجود قابل تقسیم بین ذی‌نفعان، کمتر از میزان تقاضا باشد. این مفهوم را اولین بار O'Neill (۱۹۸۲) از منظر نظریه بازی‌ها مطرح نمود. به طور خاص، "ورشکستگی آبی" را می‌توان وضعیتی نامید که در آن آب موجود در حوضه برای برآورده نمودن تقاضای کل آب، کافی نباشد. پس از مطالعه O'Neill (۱۹۸۲)، بسیاری از محققین از مفهوم ورشکستگی در مسائل تخصیص منابع مشترک محدود، نظیر مسائل منابع آب مشترک بین‌المللی استفاده کردند (Gallastegui و همکاران، ۲۰۰۳؛ Ansink و Weikard، ۲۰۱۲؛ Thomson، ۲۰۰۳؛ Herinckx و همکاران، ۲۰۰۵).

در تحقیق Madani و Zarezadeh (۲۰۱۲)، کاربرد تئوری ورشکستگی در حل مسئله تضاد بین سه کشاورز بر سر آب یک چاه فرضی مشترك نشان داده شد. آن‌ها با استفاده از قوانین ورشکستگی نسبی(P)[1]، ورشکستگی نسبی تعدیل‌شده(AP)[2]، مقید به سود یکسان(CEA)[3]، مقید به ضرر یکسان(CEL)[4]، پینایل(Pinile)[5] و تالمود(TAL)[6] آب بین ذی‌نفعان را تقسیم کردند. همچنین Zarezadeh و همکاران (۲۰۱۲) از قوانین ورشکستگی متداول فوق‌الذکر برای بازتوزیع منابع آبی رودخانه قزل‌اوزن تحت شرایط اقلیمی متفاوت استفاده نمودند.

Mianabadi و همکاران (۲۰۱۳) براساس معیارهای میزان مشارکت و نیاز آبی مدعیان، رویکردی جهت بازتوزیع منابع آبی مشترک ارائه نمودند و آن را در بازتوزیع رودخانه فرات به‌کار گرفتند. ایشان همچنین مزیت روش توسعه یافته را نسبت به سایر روش‌های مرسوم ورشکستگی از جمله بررسی SSR based on PRO[7] و CEL، CEA، PRO بررسی نمودند. نتایج نشان داد روش‌های PRO، CEA و CEL بدون لحاظ نمودن میزان مشارکت هر نماینده، فقط میزان نیاز آن‌ها را در نظر می‌گیرد و روش SSR based on PRO علی‌رغم اینکه قادر است میزان نیاز و مشارکت را در نظر گیرد، اما در همه حال نمایندگان پایین‌دست رودخانه نسبت به بالادست سهم بیشتری می‌برند. کاظمی مرشت و عراقی‌نژاد (۱۳۹۴) به‌منظور ارائه راهکاری برای مناقشات تخصصیص آب در بخش کشاورزی حوضه اترک، از رویکرد برنامه‌ریزی خطی و رویکردهای حل اختلاف نش متقارن[8]، نش نامتقارن[9]، مدل نامتقارن کالای اشمورودینسکی، مدل نامتقارن خسارت متعادل استفاده نمودند و با استناد به معیارهای اطمینان‌پذیری حجمی و زمانی، و برگشت‌پذیری نتیجه گرفتند در بین مدل‌های حل اختلاف و مدل برنامه‌ریزی خطی، مدل نش نتایج مطلوب‌تری برای ذی‌نفعان خواهد داشت. میرشفیعی و همکاران (۱۳۹۴) برای ارائه روشی مناسب جهت تخصیص عادلانه منابع آبی در بخشی از رودخانه اترک واقع در استان گلستان، از مهمترین روش‌های نظریه ورشکستگی استفاده کردند و از آنجایی‌که هر روش رویکردی متفاوت نسبت به عدالت دارد، بااستفاده‌از قانون تعدد روش‌های AP، RA، Pin و PRO به‌عنوان روش‌های مناسب انتخاب شدند.

جهت حل اختلافات منابع آبی مشترک و توزیع عادلانه و کارآمد منابع، انعطاف‌پذیری مدل و فراهم نمودن امکان مذاکره برای رسیدن به یک حد مطلوب حائز اهمیت است. غالب مطالعاتی که ذکر شد از مفاهیم رویه O'Neill (۱۹۸۲) برای مسئله ورشکستگی آب به‌عنوان یک بازی با مطلوبیت انتقال‌پذیر استفاده نمودند. در این‌گونه بازی‌ها، توزیع منافع، موجب ترغیب بازیگران به انتخاب استراتژی‌هایی در راستای منافع ائتلاف می‌شود. با این وجود، نگرش به یک مسئله منابع آبی مشترک در حوضه رودخانه فرامرزی مواجه به کم‌آبی به‌صورت یک بازی با مطلوبیت انتقال پذیر با چالش همراه است. Dagan و Volij (۱۹۹۳) عنوان نمودند، به دلیل اختلافات اجتماعی-اقتصادی و زیست‌محیطی میان آب‌بران، تعیین ارزش ذاتی آب و انتقال مطلوبیت از آن به شکل پرداخت وجه تقریباً غیرممکن است. علاوه‌بر این در شرایط کمبود آب، به‌منظور تحقق مقدار آب مورد نیاز جهت دستیابی به نقطه رضایت آب‌بران، هر آب‌بر احتمالاً به‌صورت ریسک‌گریز عمل خواهد نمود. تحت این شرایط، در نظر گرفتن مسئله تخصیص آب به‌صورت یک بازی با

مطلوبیت انتقال‌پذیر ممکن است بیانگر واقعیت نباشد. از طرف دیگر، Aumann و Maschler، ۱۹۸۵ و Curiel و همکاران، ۱۹۸۷ نشان دادند در یک بازی با مطلوبیت انتقال‌پذیر، امکان محاسبه سودهای تخصیص بر مبنای سه مفهوم بهینگی پارتو، تقارن و تعادل استراتژیک وجود ندارد. نظر به دلایل فوق‌الذکر، به نظر می‌رسد در نظر گرفتن مسئله توزیع آب در شرایط ورشکستگی به‌صورت یک بازی با مطلوبیت انتقال‌ناپذیر مناسب‌تر باشد. روش چانه‌زنی نش نامتقارن یکی از بازی‌های با مطلوبیت انتقال‌ناپذیر است که می‌تواند برای حل مسائل توزیع منابع میان مدعیانی که ادعاهایشان همپوشانی دارند، به‌کار گرفته شود و برای کاهش تنازعات استفاده شود. اخیراً Degefu و همکاران (۲۰۱۶) در حوضه نیل تحت شرایط بحرانی آب، برای حل مسئله اختلاف و تنازعات آبی، از روش ورشکستگی CEA استفاده کردند و برای رسیدن به نتایج مشابه روش ورشکستگی، از مدل چانه‌زنی نش استفاده نمودند.

منابع آبی مشترک ممکن است با رویکرد همکاری و یا درگیری طرفین همراه باشد. به نظر می‌رسد استفاده از رویکردی انعطاف‌پذیر جهت توزیع عادلانه آب می‌تواند همکاری میان طرفین را تقویت کرده و از بروز تنش جلوگیری نماید. در نتیجه پایداری حوضه از نظر سیاسی، اقتصادی، اجتماعی را به همراه داشته باشد. براین‌اساس، ارائه سازوکاری که قادر باشد ضمن لحاظ نمودن اختلافات موجود، منافع و انتظارات طرفین را به‌صورت عادلانه تأمین نماید، اهمیت ویژه‌ای دارد. در این تحقیق با استفاده ترکیبی از روش‌های چانه‌زنی و ورشکستگی مدل تخصیص بهینه آب ارائه شده و نتایج آن با قوانین متداول ورشکستگی مقایسه می‌شود. به‌این منظور، حوضه آبریز رودخانه اترک، که یکی از رودخانه‌های مهم کشور به‌شمار می‌رود، به‌عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شده‌است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: حوضه آبریز اترك یکی از حوضه‌های درجه ۲ منتهی به دریای خزر می‌باشد و بخشی از این حوضه آبریز که در ایران و در شمال شرقی کشور واقع شده است، شامل هشت محدوده مطالعاتی به نام‌های قوچان-شیروان، بجنورد، مانه، سملقان، غلامان، قوری‌میدان، مراوه‌تپه، داشلی‌برون-اینچه‌برون می‌باشد. این محدوده‌ها در سه استان خراسان رضوی، خراسان شمالی و گلستان قرار گرفته‌اند و مساحت محدوده واقع در هر استان به‌ترتیب ۱۸۸۱، ۱۶۲۲۰ و ۸۲۹۵ کیلومتر مربع می‌باشد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی محدوده‌های مطالعاتی و سه استانی که دربرگیرنده محدوده‌های مطالعاتی می‌باشند را نشان می‌دهد. همچنین برخی مشخصات و اطلاعات مربوط به منطقه مورد مطالعه در جدول (۱) درج شده است. حوضه اترک به دلیل وسعت و اختلاف ارتفاع زیاد منطقه، شرایط را برای ایجاد انواع اقلیم فراهم نموده است که به تبع آن منجر به تنوع محصولات کشاورزی، ایجاد صنایع، گردشگری و... شده است. حدود ۷۶/۵ درصد از حوضه آبریز اترک را مناطق کوهستانی و ۲۳/۵ درصد را دشت‌ها تشکیل می‌دهند. متوسط بارش در محدوده مطالعاتی ۳۲۱ میلی‌متر در سال می‌باشد (گزارش جاماب وزارت نیرو، حوضه آبریز اترک). منابع آب حوضه آبریز اترک شامل سطحی و زیرزمینی بوده که بیشتر نیازهای مصارف از آب‌های سطحی تأمین می‌شود. همچنین احداث طرح‌های توسعه منابع آبی در استان‌های بالادست حوضه، موجب شده است در شرایط خشکسالی آب ورودی به استان پایین‌دست به مقدار قابل توجهی کاهش یابد. این امر منجر به ایجاد تنازعات و مناقشات منطقه‌ای شده است. در سال‌های اخیر، افزایش مصارف آب در این حوضه باعث شده است، نسبت کل حجم آب موجود در حوضه به نیازهای موجود آن در حدود ۶۴ درصد برسد که حاکی از وقوع تنش شدید آبی می‌باشد. با مطالعه صورت گرفته در این حوزه مطالعاتی که در قسمت مقدمه اشاره گردید و همچنین استناد به گزارشات وزارت نیرو؛ نتایج نشان‌دهنده این موضوع بوده که، منابع آبی در این منطقه جوابگوی نیاز آب‌بران نبوده و حوضه با ورشکستگی آبی مواجه شده است.

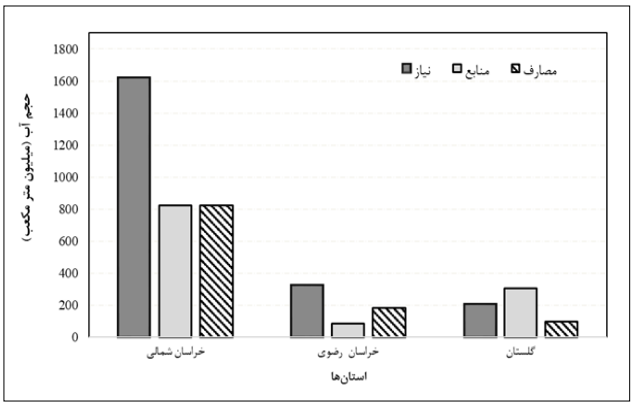
در این تحقیق از آمار میانگین بلندمدت ۴۰ ساله ایستگاه‌های آب‌سنجی رودخانه‌ها و همچنین گزارش آماربرداری حوزه اترک و در نظر گرفتن نیازهای آبی بخش کشاورزی و صنعت استفاده شده است (جدول ۱، گزارش جاماب وزارت نیرو). نیازهای صنعت و کشاورزی در حوزه اترک نشان می‌دهد، استان خراسان‌شمالی با مقدار ۸۲۳ میلیون مترمکعب دارای بیشترین میزان مصرف آبی در حوزه اترک می‌باشد. ضمناً استان خراسان‌رضوی با وجود آنکه در مقایسه با استان گلستان سهم کمتری از تولید منابع آبی و مساحت حوزه را دارد لیکن دارای مصرف آب بیشتری (۱۸۵ میلیون مترمکعب)، نسبت به استان گلستان (۹۹ میلیون مترمکعب) است.

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز اترک

جدول ۱- مشخصات منطقه مورد مطالعه و وضعیت منابع آبی استان‌های دربرگیرنده حوضه اترک

استان	محدوده‌های مطالعاتی	درصد مساحت از حوضه	حجم بارش (م.م.م.)	پتانسیل منابع آب (م.م.م.)	تنش آبی نسبی
خراسان شمالی	مانه، سملقان، بجنورد، غلامان، قوری میدان(بخش خراسان‌شمالی)، قوچان- شیروان (بخش خراسان‌شمالی)	۶۲	۵۲۷۰	۸۲۵	۰/۶۲
خراسان‌رضوی	قوچان-شیروان (بخش خراسان‌رضوی)	۷	۷۳۵	۸۵	۰/۷۵
گلستان	داشلی‌برون اینچه‌برون، مراوه تپه، قوری میدان (بخش گلستان)	۳۱	۲۶۰۴	۳۰۴	۰/۵۵

شکل (۲) نشان‌دهنده نیاز آبی، منابع و مصارف آب بخش صنعت و کشاورزی هر استان در حوضه اترک می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود استان خراسان شمالی با مقدار ۸۲۳ میلیون مترمکعب بیشترین میزان مصرف آبی در حوضه اترک را دارد. لازم به ذکر است استان خراسان رضوی با وجود آنکه در مقایسه با استان گلستان سهم کمتری از تولید منابع آبی و مساحت حوضه دارد، اما مصرف آب بیشتری (۱۸۵ میلیون مترمکعب)، نسبت به استان گلستان (۹۹ میلیون مترمکعب) دارد.



شکل ۲- مقادیر نیاز آبی، منابع و مصارف آب بخش صنعت و کشاورزی استان‌های واقع در حوضه اترک

رویکرد ورشکستگی: به دلیل شباهت مسئله تقسیم آب با مسئله ورشکستگی، می‌توان از قوانین تئوری ورشکستگی در حوضه‌هایی که در آن‌ها ورشکستگی آبی اتفاق افتاده است، استفاده نمود. با این وجود، تخصیص آب با استفاده از قوانین ورشکستگی متداول صرفاً براساس روابط حاکم بر آن‌ها بوده و در ساختار این قوانین، به مدیریت تقاضا و بهینه‌سازی حجم آب تخصیص یافته به آب‌بران و دخیل نمودن ایشان در تصمیم‌گیری پرداخته نمی‌شود.

همکارانه یا غیرهمکارانه: همکارانه بودن بازی ممکن است بازیکنان در حین انجام بازی پیرامون انتخابی یك استراتژی با هم توافق کنند. اگر توافق بین بازیکنان قابل اجرا و علمی باشد، بازی را «همکارانه»[10] و اگر توافق بین بازیکنان قابل اجرا و علمی نباشد، آن را «غیرهمکارانه»[11] گویند. به تعبیر دیگر اگر بازیکنان بتوانند براساس اصول توافق شده عمل کنند، بازی را همکارانه و در غیر این صورت به آن، بازی غیرهمکارانه اطلاق می‌شود. لازم به ذکر است متقارن بودن ذی‌نفعان به معنای داشتن وزن‌های یکسان و یا اهمیت برابر آن‌ها نسبت به هم و نامتقارن بودن به معنای درجه اهمیت‌های متفاوت ذی‌نفعان می‌باشند (کاظمی مرشت و عراقی‌نژاد، ۱۳۹۴).

جهت رفع کمبودهای مزبور، رویکرد بهینه‌سازی چانه‌زنی همکارانه در ترکیب با روش ورشکستگی جهت تخصیص بهینه آب ارائه شده است. به منظور بررسی انعطاف‌پذیری و ارزیابی کارکرد مدل ارائه شده، نتایج حاصل از روش پیشنهادی با نتایج روش‌های متداول نظریه ورشکستگی نظیر AP، PRO و CEA مقایسه شده است. در ادامه به تشیح روش چانه‌زنی نش نامتقارن مورد استفاده در این تحقیق و همچنین معرفی اجمالی قوانین متداول ورشکستگی پرداخته می‌شود.

چانه‌زنی نش نامتقارن: در این مطالعه، نظریه چانه‌زنی نش نامتقارن در ترکیب با مفهوم ورشکستگی آبی برای تخصیص آب در حوضه آبریز مشترک میان چند استان از طریق در نظر گرفتن تابع مطلوبیت نسبی هر آب‌بر، وزن‌های چانه‌زنی و لحاظ نمودن کمینه مقدار تخصیص آب به هر آب‌بر، به کار گرفته شد.

Nash (۱۹۵۰؛ ۱۹۵۳) نشان داد، مسئله بهینه‌سازی در یک فضای مطلوبیت محدب[12]، بسته و محدود[13]، جواب منحصربه فردی دارد و مجموعه ویژه با خواص مطلوب را تامین می‌نماید. با در نظر گرفتن وزن چانه‌زنی هر آب‌بر (استان)، مسئله بهینه‌سازی تخصیص آب در شرایط ورشکستگی می‌تواند به‌صورت ذیل نوشته شود (Harsanyi، ۱۹۸۲).

$$aximaize\ N^{wi}=(f_1(x_1)-d_1)^{w_1}(f_2(x_2)-d_2)^{w_2}(f_3(x_3)-d_3)^{w_3}(f_n(x_n)-d_n)^{w_n} \quad (۱)$$

subject to:

$$f_i(x_i)\geq d_i, i=1.2.....n \quad (۱)$$

$$m_i\leq x_i\leq C_i \quad (۳)$$

$$\Sigma^{n}_{i=1}x_i \leq E \quad (۴)$$

در رابطه (۱) N تعداد ذی‌نفعان (آب‌بر)، w_i بیانگر وزن چانه‌زنی آب‌بر i، $f_i(x_i)$ بیانگر تابع مطلوبیت نسبی آب‌بر i، و d_i نقطه مطلوبیت عدم توافق آب‌بر i می‌باشد (فرض می شود کلیه تصمیم‌گیرندگان در بیان تابع مطلوبیت خود، یک حداقل مطلوبیت را تعیین می نمایند که مقادیر کمتر از آن برای آن تصمیم گیرنده به هیچ وجه قابل قبول نمی‌باشد). در رابطه (۱) مجموع وزن‌های نسبی برابر یک در نظر گرفته می‌شود ($\Sigma^{n}_{i=1}w_i=1$). این مدل با قیود عقلانیت فردی[۱۴] و کارآیی در نظر گرفته شده است و بیشینه تقاضای آب‌بران (C_i) و کمینه آب تخصیصی به آب‌بران(m_i) به‌ترتیب به‌عنوان حد بالا و پایین تخصیص بهینه به هر استان در نظر گرفته شده‌اند. کمینه تخصیص آب برای پذیرش استان‌ها برابر با ۵۰ درصد تقاضایشان در نظر گرفته شده است. همچنین (d_i) نقطه عدم توافق برای آب‌بران می‌باشد، که از رابطه (۵) تبعیت می‌نماید.

$$d_i=f_i(m_i) \quad (۵)$$

رابطه (۲) بیانگر آن است که مطلوبیت حاصل از آب تخصیصی برای هر آب‌بر (استان) باید بیشتر یا مساوی مطلوبیت آن در نقطه عدم توافق باشد. رابطه (۳) بیانگر حد پایین و بالای مصرف آب برای آب‌بران می‌باشد که بیانگر حقابه و تقاضای آبی می‌باشد. قید اشاره شده در رابطه (۴) نشان می‌دهد، کل آب تخصیصی در حوضه باید کمتر یا مساوی مقدار آب در دسترس مصرف باشد. در این رابطه E بیانگر منابع آبی موجود در حوضه و x_i نشان‌دهنده‌ی مقدار آب تخصیص یافته به آب‌بران حوضه می‌باشد. تابع مطلوبیت برای آب‌بران (استان‌ها) حوضه آبریز می‌تواند به‌صورت یک تابع بازه‌ای خطی (رابطه ۶) در نظر گرفته شود (Wu و Xu، ۱۹۹۶).

$$f_i(x_i)=(x_i-d_i)/(C_i-d_i) \quad (۶)$$

رویکرد حل اختلاف در تخصیص منابع آب حوضه آبریز اترك ارائه شده در این تحقیق در دو حالت تحلیل شده است. تابع هدف مدل تخصیص مبتنی برروش‌های حل اختلاف متقارن نش و نامتقارن نش، نامتقارن بوده که این روش‌ها به تفصیل در مطالعات Zarghami و Szidarovszky (۲۰۱۱) توضیح داده شده است. متقارن بودن ذی‌نفعان به معنای داشتن وزن‌های یکسان و یا اهمیت برابر آنها نسبت به هم و نامتقارن بودن به معنای درجه اهمیت‌های متفاوت ذی‌نفعان می‌باشند. در حالت اول، وزن‌های چانه‌زنی آب‌بران یکسان (نش متقارن) در نظر گرفته می‌شود، در این حالت خاص، چانه‌زنی نش نامتقارن متناظر با حل نش متقارن می‌باشد. در حالت دوم به‌منظور نمایش تأثیر مشارکت وزن‌های چانه‌زنی در خروجی مدل تخصیص آب و در نتیجه انعطاف‌پذیری مدل، وزن‌های چانه زنی با ساز و کاری منطقی به نحوی در نظر گرفته می‌شوند که در شرایط کمبود آب، منشأ عدم تقارن میان آب‌بران مختلف (استان‌ها) شده و تخصیص عادلانه آب به هر آب‌بر را محقق سازند. به‌منظور بررسی میزان حساسیت آب تخصیصی هر آب‌بر نسبت به تغییر وزن آب‌بر، تحلیل حساسیت آب تخصیص به آب‌بران بر مبنای تغییر وزن نسبی آن‌ها نیز صورت می‌گیرد. لازم به ذکر است در این حوضه مطالعاتی منظور از ذی‌نفعان و آب‌بران، استان‌های خراسان شمالی، خراسان رضوی و گلستان می‌باشد. به‌منظور حل تابع نش متقارن و نامتقارن در این حوضه مطالعاتی از مدل لینگو نسخه ۱۴[۱۵] برای سیستم عامل ۶۴ بیتی که یک مدل بهینه‌ساز با قابلیت حل مدل‌های خطی و غیرخطی می‌باشد استفاده شد.

قوانین ورشکستگی متداول: همان‌گونه که پیشتر عنوان شد، در این تحقیق نتایج مدل چانه‌زنی همکارانه پیشنهادی با نتایج قوانین متداول ورشکستگی مقایسه شد. قوانین ورشکستگی متداول مورد استفاده در این تحقیق شامل سه روش PRO، CEA و AP می‌باشد که در ادامه به بیان مختصر آن‌ها پرداخته می‌شود.

۱- قانون ورشکستگی نسبی (PRO) که ارسطو آن را به‌عنوان الگویی برای تخصیص عادلانه در نظر گرفت (Dagan و Volji، ۱۹۹۳) به این صورت می‌باشد که نسبتی یکسان (ρ) از ادعای هر کاربر تأمین خواهد شد که این نسبت با استفاده از رابطه‌ی (۷) تعیین می‌شود:

$$\rho=E/C \quad , \quad X_i^{pro}=\rho\ C_i \quad (۷)$$

۲- قانون ورشکستگی مقید به سود یکسان (CEA) روشی است که طی آن کمینه ادعایی که از طرف کاربران اعلام شده است به‌عنوان پایه‌ای برای تخصیص‌ها در نظر گرفته می‌شود. سپس این مقدار را باتوجه‌به موجودی سیستم و با اضافه کردن مقدار λ تا جایی افزایش می‌دهد که میزان تخصیص کوچکتر از یا مساوی با ادعای هر یک از ذی‌نفعان باشد. درصورتی‌که موجودی سیستم جوابگوی مقدار کمینه تعیین شده برای کلیه ذی‌نفعان نباشد، موجودی سیستم به‌صورت یکسان بین ذی‌نفعان تقسیم می‌شود.

$$x_i^{CEA}=Min\ (\lambda,C_i) \quad (۱)$$

۳- قانون ورشکستگی نسبی تعدیل شده (AP) در مطالعه Curiel و همکاران (۱۹۸۷) مطرح شد. این روش ابتدا برای هر یک از کاربران مقداری را باتوجه‌به کل موجودی سیستم و مجموع ادعاهای دیگر ذی‌نفعان محاسبه میکند که آن را با

$v_i^{(E.C)}$ نشان می‌دهند و براساس رابطه (۹) محاسبه می‌شود:

$$v_i^{(E.C)}=Max\ \{0.E-\Sigma_{j\neq 1}C_j\} \quad (۹)$$

$v_i^{(E.C)}$ برابر با مقدار واگذار شده از دیگر ذی‌نفعان به ذی‌نفع i می‌باشد و کمینه میزان تخصیص یافته به هر یک از آن‌ها را نشان می‌دهد. بعد از تخصیص اولیه برای تعیین تخصیص کل، ضریبی براساس $v_i^{(E.C)}$، ادعای هر یک از ذی‌نفعان و کل موجودی سیستم محاسبه شده و در اختلاف بین ادعا و میزان تخصیص اولیه هر یک از ذی‌نفعان ضرب می‌شود مجموع تخصیص اولیه و این مقدار، تعیین کننده مقدار کل تخصیص یافته به هر یک از ذی‌نفعان می‌باشد. از رابطه (۱۰) به‌منظور محاسبه مقدار تخصیص با استفاده از این روش استفاده می‌شود.

$$AP=\begin{cases} v_i+\left(C_i^E-v_i\right)\left(\sum_{j\in N}\left(C_j^E-v_j\right)\right)^{-1}\left(E-\sum_{j\in N}v_j\right) & if\ C>E>0 \\ C_i & if\ E=C \\ 0 & if\ E=0 \end{cases} \quad (۱۰)$$

نتایج و بحث

حالت وزن نسبی یکسان: تابع بهینه اشاره شده در بخش قبل در مدل لینگو توسعه داده شد و نتایج بیانگر بود که با در نظر گرفتن وزن نسبی یکسان برای هر آب‌بر (استان) در مدل چانه‌زنی نش نامتقارن، نتایج معادل روش چانه‌زنی نش متقارن استنتاج می‌شود. جدول (۲) نتایج تخصیص آب بخش صنعت و کشاورزی به آب‌بران تحت حالت نش متقارن آب‌بران و همچنین مقادیر آب تخصیصی طی سه قانون ورشکستگی متداول را نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌شود، در روش نش متقارن استان خراسان شمالی با مقدار آب تخصیصی ۸۵۵ میلیون متر مکعب در سال بیشترین و استان گلستان با مقدار ۱۴۹/۵ میلیون متر مکعب در سال کمترین مقدار آب تخصیصی را دارد.

جدول ۲- تخصیص آب بخش صنعت و کشاورزی بر اساس روش چانه‌زنی نش متقارن و قوانین ورشکستگی متداول

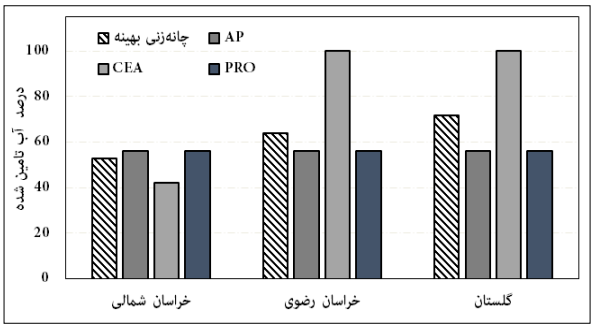
استان	نیاز آبی (م.م.م. در سال)		وزن چانه‌زنی	روش بهینه‌سازی چانه‌زنی نش‌متقارن (م.م.م. در سال)	قوانین ورشکستگی متداول (م.م.م. در سال)		
	کمینه	بیشینه			AP	PRO	CEA
خراسان‌شمالی	۸۰۹/۵	۱۶۱۹	۰/۳۳	۸۵۵	۹۱۲	۹۱۲	۶۷۸
خراسان‌رضوی	۱۶۴	۳۲۸	۰/۳۳	۲۰۹/۵	۱۸۵	۱۸۵	۳۲۸
گلستان	۱۰۴	۲۰۸	۰/۳۳	۱۴۹/۵	۱۱۷	۱۱۷	۲۰۸

جدول (۲) نشان می‌دهد که اگرچه الگو و رتبه تأمین آب میان استان‌ها در نتایج سه قانون ورشکستگی مشابه روش چانه‌زنی نش متقارن می‌باشد اما مقادیر تخصیص آب با روش چانه‌زنی نش متقارن متفاوت است. شایان ذکر است مقدار آب تخصیصی با قانون ورشکستگی AP و PRO مشابه می‌باشد. علت نتایج مشابه این دو روش آن است که حل این دو روش حاصل از ضرب ضریبی در مقدار بیشینه تقاضای آبی آب‌بران می‌باشد که در مطالعه موردی این تحقیق مقدار ضریب محاسباتی دو روش یکسان می‌باشد. برای استان خراسان شمالی مقادیر آب تخصیصی با قوانین ورشکستگی AP، PRO به‌ترتیب با مقادیر ۹۱۲ میلیون متر مکعب در سال بیشتر و روش CEA با مقدار ۶۷۸ میلیون متر مکعب در سال کمتر از مقدار تخصیصی طی روش چانه‌زنی نش (۸۵۵ میلیون مترمکعب در سال) می‌باشد. برعکس، برای استان خراسان رضوی، مقادیر تخصیص آب طی روش‌های AP و PRO با مقدار عددی ۱۸۵ میلیون متر مکعب در سال کمتر و مقادیر روش CEA با مقدار عددی ۳۲۸ میلیون مترمکعب در سال بیشتر از آب تخصیصی توسط روش چانه‌زنی (۲۰۹/۵) می‌باشد. برای استان گلستان نیز روند مشابه با استان خراسان‌رضوی مشاهده شد، به‌طوری‌که مقدار آب تخصیصی با روش AP و PRO (۱۱۷) بیشتر و روش CEA (۲۰۸) کمتر از آب تخصیصی با روش چانه‌زنی (۱۴۹/۵) می‌باشد.

شکل (۳) مقایسه مقادیر درصد آب تأمین شده نسبت به نیاز آبی بخش صنعت و کشاورزی طی روش چانه‌زنی نش متقارن (وزن نسبی یکسان) و سه قوانین متداول ورشکستگی AP، PROو CEA را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود درصد آب تأمین شده طی روش چانه‌زنی نش متقارن برای استان‌های خراسان شمالی، خراسان رضوی و گلستان به‌ترتیب ۵۳، ۶۴ و ۷۲ می‌باشد. در روش چانه‌زنی نش متقارن به دلیل آنکه وزن‌های نسبی یکسان در نظر گرفته می‌شود، جواب تابع چانه‌زنی نش متقارن صرفاً وابسته به مقادیر بیشینه و کمینه تقاضای آب‌بران، بوده و از وزن‌ها تأثیر نمی‌پذیرد.

شکل (۳) همچنین نشان می‌دهد تحت روش CEA مقدار نیاز آبی بخش صنعت و کشاورزی دو استان خراسان رضوی و گلستان به‌طور کامل تأمین شده است اما نیاز آبی استان خراسان شمالی به میزان ۴۲ درصد تأمین شده است. علت این امر آن است که طبق ساختاری قانون ورشکستگی CEA، در مرحله اول متناسب با منابع آب موجود و با مد نظر قرار دادن بیشینه نیاز آبی آب‌بران، مقدار یکسان آب معادل نیاز آب‌بری که بیشینه نیاز

آبی کمتری دارد (در این مطالعه استان گلستان با بیشینه نیاز آبی ۲۰۸ میلیون متر مکعب در سال)، به‌عنوان تخصیص اولیه در نظر گرفته می‌شود. استان گلستان با تأمین تمامی نیاز آبی خود، در مرحله دوم تخصیص در نظر گرفته نمی‌شود. با در نظر گرفتن منابع موجود و نیازهای استان‌ها، مرحله دوم تخصیص برای آب‌بران صورت می‌پذیرد که در این مرحله بیشینه نیاز آبی استان خراسان رضوی هم تأمین می‌شود. سپس از منابع آبی باقی‌مانده به استان خراسان شمالی اختصاص می‌یابد.



شکل ۳- مقادیر درصد آب تخصیصی به نیاز آبی بخش صنعت و کشاورزی طی روش چانه‌زنی نش متقارن و سه قوانین متداول ورشکستگی

وزن نسبی متفاوت: به‌منظور نمایش تأثیر وزن‌های چانه‌زنی برروی نتایج مدل پیشنهادی، از وزن‌های نسبی مختلف آب‌بران استفاده و بررسی شد. جدول (۳) نتایج تخصیص آب حاصل از به‌کارگیری روش چانه‌زنی نش نامتقارن در مقایسه با قانون ورشکستگی متداول PRO در مطالعه موردی این تحقیق را براساس وزن نسبی مبتنی بر ادعای آب‌بران (بیشینه نیاز آبی) نشان می‌دهد. همان‌گونه که در جدول (۳) ملاحظه می‌شود، هنگامی‌که وزن نسبی چانه‌زنی نش نامتقارن متناسب با نیاز آبی بیشینه آب‌بران تعیین شود، در این صورت نتایج روش حل چانه‌زنی نش نامتقارن برای مسئله توزیع آب برای هر آب‌بر که شرط $E \leq C(N/i)$ را دارد، معادل با نتایج حاصل از به‌کارگیری قانون PRO خواهد بود. این نتیجه با نتیجه Dagan و Volji، (۱۹۹۳) که اعلام نمودند هنگامی که وزن نسبی روش چانه‌زنی نش نامتقارن مبتنی بر ادعای آب‌بران باشد، نتایج تخصیص حاصل از مدل چانه‌زنی نش نامتقارن در شرایط مسئله ورشکستگی منتاظر با نتایج تخصیص حاصل از قانون ورشکستگی PRO می‌باشد، یکسان و برابر است. تحت این شرایط، مقدار درصد تأمین آب مصارف کشاورزی و صنعت استان‌های خراسان شمالی، خراسان رضوی و گلستان به طور یکسان ۵۶ درصد خواهد بود.

جدول (۴) نتایج تخصیص به‌کارگیری روش‌شناختی پیشنهادی و قوانین ورشکستگی متداول بررسی شده در مطالعه موردی این تحقیق را براساس وزن نسبی یکسان اما بیشینه نیاز آبی معادل با نقطه عدم توافق برابر با صفر (d=۰) نشان می‌دهد. تحت این شرایط، مقدار تخصیص بهینه مبتنی بر لحاظ مقدار نقطه عدم توافق صفر و وزن نسبی یکسان به نتایج مشابه با قانون ورشکستگی CEA انجامیده است (جدول ۴).

جدول ۳- تخصیص آب بخش صنعت و کشاورزی بر اساس روش چانه‌زنی نش نامتقارن با لحاظ وزن نسبی مبتنی بر ادعای (بیشینه نیاز آبی) آب‌بران و قانون ورشکستگی متداول PRO

استان	نیاز آبی (م.م.م. در سال)		وزن چانه‌زنی	بهینه‌سازی چانه‌زنی نش‌متقارن (م.م.م. در سال)	قانون ورشکستگی PRO (م.م.م. در سال)	درصد تأمین آب
	کمینه	بیشینه				
خراسان‌شمالی	۸۰۹/۵	۱۶۱۹	۰/۷۵	۹۱۲	۹۱۲	۵۶
خراسان‌رضوی	۱۶۴	۳۲۸	۰/۱۵	۱۸۵	۱۸۵	۵۶
گلستان	۱۰۴	۲۰۸	۰/۱	۱۱۷	۱۱۷	۵۶

جدول ۴- تخصیص آب بخش صنعت و کشاورزی بر اساس روش چانه‌زنی نش نامتقارن با لحاظ نقطه عدم توافق صفر و قانون ورشکستگی CEA

استان	کمینه نیاز/ نقطه عدم توافق	بیشینه نیاز	وزن چانه‌زنی	بهینه‌سازی چانه‌زنی (م.م.م. در سال)	قانون ورشکستگی CEA (م.م.م. در سال)	درصد تأمین آب
	(م.م.م. در سال)					
خراسان‌شمالی	۰	۱۶۱۹	۰/۳۳	۶۷۸	۶۷۸	۴۳
خراسان‌رضوی	۰	۳۲۸	۰/۳۳	۳۲۸	۳۲۸	۱۰۰
گلستان	۰	۲۰۸	۰/۳۳	۲۰۸	۲۰۸	۱۰۰

به‌عبارت‌دیگر، هنگامی‌که وزن نسبی یکسان لحاظ شود و سهم‌آبه‌ای برای توافق یا عدم توافق در نظر گرفته نشود، نتایج روش چانه‌زنی نش نامتقارن با معادل قانون CEA می‌باشد. تحت این شرایط، درصد تأمین آب برای استان‌های خراسان شمالی، خراسان رضوی و گلستان به‌ترتیب ۴۳ و ۱۰۰ و ۱۰۰ می‌باشد. براساس جدول (۳) و (۴) می‌توان بیان نمود روش چانه‌زنی نش

نامتقارن پیشنهادی، مدلی انعطاف‌پذیر است، به‌نحوی‌که قادر است با انتخاب وزن نسبی، سهم آبه و نیاز آبی (نقطه عدم توافق)، نتایج و حالات مختلف و همچنین قوانین ورشکستگی متداول را پوشش دهد.از آنجایی‌که با افزایش تقاضای آب و کاهش جریان رودخانه، مجادله بر سر آب افزایش می‌یابد، می‌توان عنوان نمود که این روش‌شناختی تخصیص آب نسبت به تغییر نیاز آبی و آب در دسترس نیز انعطاف‌پذیر است. این ویژگی (انعطاف‌پذیری) کمک می‌نماید با تنظیم متغیرهای مسئله با شرایط جدید و ایجاد امکان مذاکره و اجرای مجدد فرآیند بهینه‌سازی، میزان آب تخصیصی براساس معیارهای دخیل، منطبق و به‌روزرسانی شود. این مسئله همچنین می‌تواند از ایجاد کشمکش آتی بر سر آب و ایجاد مخاطرات ناشی از ادعای آتی محتمل آب‌بران در حوضه آبریز، جلوگیری نماید.

همان‌گونه‌که در نتایج جدول (۲) ملاحظه شد، روش چانه‌زنی نش متقارن متأثر از مقادیر کمینه و بیشینه نیاز آبی می‌باشد، به‌طوری‌که طی این روش، فارغ از میزان پتانسیل آب تولیدی هر آب‌بر، هر استانی که نیاز آبی بیشتری داشته باشد، درصد تأمین آب بیشتری هم خواهد داشت. با این حال مقایسه نتایج جدول (۲) و جدول (۳) نشان می‌دهد، چگونه در روش چانه‌زنی نش نامتقارن، علاوه‌بر تأثیرگذاری مقادیر کمینه و بیشینه نیاز آبی، مقدار وزن نسبی تعیین شده نیز در مقدار آب تخصیصی به آب‌بران تأثیرگذار می‌باشد. اثرگذاری وزن نسبی در مدل چانه‌زنی نش نامتقارن که می‌تواند بر مبناهای مختلف در نظر گرفته شود، می‌تواند منجر به انطباق و انعطاف مدل به واقعیات موجود شود به‌طوری‌که امکان دست‌یابی به نتایج و تحلیل‌های مختلف را فراهم آورده و امکان توزیع عادلانه آب در میان بالادست و پایین‌دست حوضه را فراهم می‌نماید. درحال‌حاضر در حوضه اترک استان‌های بالادست استفاده بیشتری از منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌نمایند، به‌گونه‌ای‌که حوضه دارای وضعیت ناپایداری بوده و از نظر تأمین نیاز استان‌ها، با مشکل مواجه می‌باشد.

به‌منظور ارائه رویکردی عادلانه در تعیین وزن‌های تابع نش از اطلاعات پتانسیل منابع آب تولیدی هر استان که در جدول (۱) نشان داده، استفاده شد و وزن استان‌های مختلف متناسب با درصد پتانسیل آب تولیدیشان منظور شد. چنانچه وزن‌های نسبی مدل چانه‌زنی نامتقارن بر مبنای پتانسیل منابع آبی هر حوضه در نظر گرفته شود، نتایج تخصیص آب بر مبنای سه عامل پتانسیل منابع آبی، کمینه و بیشینه نیاز آبی استان‌ها محاسبه خواهد شد که می‌تواند به نتایج نسبتاً عادلانه‌تر و واقع بینانه‌تر تخصیص آب منجر شود. جدول (۵) نتایج تخصیص آب صنعت و کشاورزی متناسب با وزن‌های نسبی مبتنی بر پتانسیل منابع آبی هر آب‌بر را نمایش می‌دهد. حجم آب تخصیص یافته برای استان‌های خراسان شمالی، خراسان رضوی و گلستان به‌ترتیب ۹۰۲، ۱۷۴ و ۱۳۸ (میلیون متر مکعب در سال) می‌باشد، همچنین درصد تأمین آب برای استان‌ها نیز به‌ترتیب ۵۶، ۵۳ و ۶۶ خواهد بود.

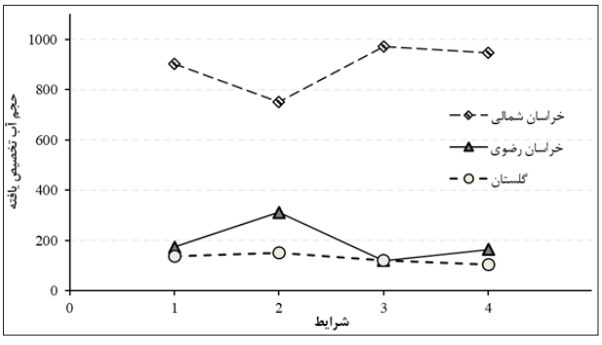
جدول ۵- تخصیص آب بخش صنعت و کشاورزی بر اساس روش چانه‌زنی نش نامتقارن با وزن نسبی مبتنی بر (پتانسیل منابع آبی) آب‌بران

استان	نیاز آبی (م.م.م. در سال)		وزن چانه‌زنی	روش‌بهینه‌سازی چانه‌زنی‌نامتقارن (م.م.م. در سال)	درصد تأمین آب
	کمینه	بیشینه			
خراسان‌شمالی	۸۰۹/۵	۱۶۱۹	۰/۶۸	۹۰۲	۵۶
خراسان‌رضوی	۱۶۴	۳۲۸	۰/۰۷	۱۷۴	۵۳
گلستان	۱۰۴	۲۰۸	۰/۲۵	۱۳۸	۶۳

تحلیل حساسیت: تحلیل حساسیت آب تخصیصی به هر آب‌بر، با هدف بررسی تغییرات میزان آب تخصیصی نسبت به تغییرات وزن چانه‌زنی (قدرت نسبی) هر یک از آب‌بران صورت پذیرفت. ایده تحلیل حساسیت، جابجایی دو به دو وزن نسبی آب‌بران با یکدیگر بوده، از آنجایی‌که در مطالعه موردی این تحقیق ۳ آب‌بر در نظر گرفته شده است، لذا ۳ ترکیب مختلف امکان‌پذیر بوده که به‌صورت شرایط ۲ الی ۴ در نظر گرفته شد. برای مثال در شرایط ۲، وزن نسبی خراسان شمالی و خراسان رضوی با یکدیگر جابجا شده است. منظور از شرایط اصلی، حالتی است که وزن نسبی هر آب‌بر براساس جدول (۵) در نظر گرفته شده باشد. جدول (۶) شرایط و حالات مختلف تغییر وزن نسبی آب‌بران (استان‌ها) و شکل (۴) نتایج محاسبات تحلیل حساسیت شرایط مزبور در جدول (۶) را به صورت نمایش ترسیمی نشان می‌دهد. همانطور که در شکل (۴) ملاحظه می‌شود استان خراسان شمالی در تمامی شرایط بیشترین آب دریافتی را نسبت بقیه استان‌ها خواهد داشت و تغییر اوزان نسبی، نمی‌تواند جایگاه و رتبه تأمین آب این استان را تحت تأثیر قرار دهد. در شرایط ۲، استان خراسان رضوی که سهم کمتری در تولید منابع آب دارد به بیشترین میزان از تقاضای خود دست پیدا خواهد نمود.

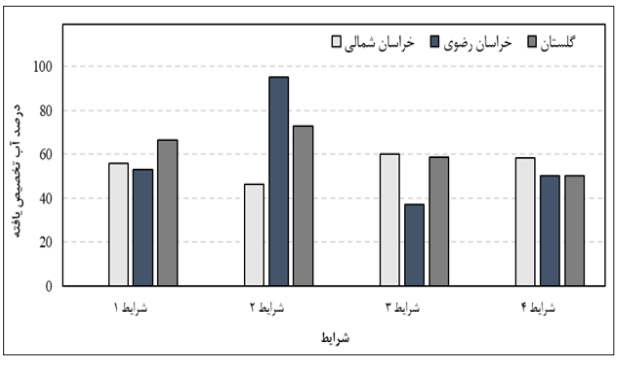
جدول ۶- حالات مختلف تغییر وزن نسبی چانه‌زنی آب‌بران به‌منظور انجام تحلیل حساسیت

آب‌بر	وزن نسبی			
	حالت ۱ (شرایط اصلی)	شرایط ۲	شرایط ۳	شرایط ۴
خراسان‌شمالی	۰/۶۸	۰/۰۷	۰/۲۵	۰/۶۸
خراسان‌رضوی	۰/۰۷	۰/۶۸	۰/۰۷	۰/۲۵
گلستان	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۶۸	۰/۰۷



شکل ۴- نمایش ترسیمی تحلیل حساسیت مقدار آب تخصیصی به آب‌بران تحت شرایط مختلف تغییر وزن نسبی چانه‌زنی

درصد آب تخصیصی نسبت به بیشینه تقاضای آب‌بران با در نظر گرفتن حالت‌های ۱، ۲، ۳، ۴ برای هر استان در شکل (۵) نمایش داده شده است، درصد تامین آب برای استان‌های خراسان شمالی، خراسان رضوی و گلستان به‌ترتیب بین ۶۰-۴۶، ۳۷-۹۵ و ۷۳- ۵۰ تغییر می‌نماید. به‌عنوان مثال کمینه و بیشینه درصد تامین برای استان خراسان رضوی به‌ترتیب تحت اعمال شرایط ۲ و شرایط ۳ اتفاق خواهد افتاد.



شکل ۵- نمایش ترسیمی تحلیل حساسیت درصد آب تخصیصی به آب‌بران، تحت شرایط مختلف تغییر وزن نسبی چانه‌زنی

نتیجه‌گیری

توسعه اقتصادی-اجتماعی یک منطقه با فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی همراه بوده که مستلزم استفاده از منابع آب می‌باشد. فشار بیش از حد به منابع آب خصوصا در حوضه‌های آبریز مشترک، بدون توجه به منابع آبی در اختیار و قابل استفاده، می‌تواند باعث نزاع آب‌بران و عدم توزیع عادلانه آب برای بهره‌مندی مصارف مختلف شود. این مطالعه گامی در راستای مدیریت کارآمد و هماهنگ تخصیص منابع آب مشترک، جهت جلوگیری از درگیری‌های احتمالی در مناطقی که میزان مصارف آب از منابع موجود بیشتر می‌باشد. به‌منظور ارائه مدل انعطاف‌پذیر، واقع‌بینانه و عادلانه، از رویکرد چانه‌زنی نش نامتقارن استفاده شد. این مدل در حوضه آبریز اترک ارزیابی شد و نتایج آن با برخی از قوانین متداول ورشکستگی مقایسه شد. یافته‌های تحقیق نشان داد، هنگامی‌که در مدل چانه‌زنی، کمینه تقاضای آب‌بران صفر و وزن نسبی یکسان در نظر گرفته شود، نتایج با خروجی قانون ورشکستگی CEA معادل خواهد بود. همچنین هنگامی‌که وزن‌های نسبی مدل چانه‌زنی نش نامتقارن بر مبنای بیشینه تقاضای آب‌بران در نظر گرفته شود، نتایج با قوانین متداول ورشکستگی AP و PRO یکسان خواهد بود. لذا بسته به نحوه لحاظ متغیرهای ورودی، مدل پیشنهادی به تنهایی قادر به پوشش نتایج قوانین ورشکستگی موجود می‌باشد. جهت برقراری عدالت در توزیع آب در بالادست و پایین‌دست حوضه و کاهش ناپایداری منابع آب، در انتخاب وزن‌های نسبی آب‌بران، علاوه‌بر کمینه و بیشینه نیاز آبی، معیار پتانسیل منابع آبی تولیدی باید در وزن هر استان دخیل شود. تحت این شرایط، استان گلستان و خراسان رضوی به‌ترتیب بیشترین و کمترین درصد تأمین آب را داشتند. تحلیل حساسیت نشان داد تغییر وزن نسبی، می‌تواند درصد و رتبه تأمین آب استان‌ها را دچار تغییر نماید. فراهم نمودن امکان مذاکره بین آب‌بران از طریق انتخاب وزن نسبی متناظر با معیارهای مورد نظر، در کنار سهولت اجرای مدل، می‌تواند سیاست‌گذاران را در جهت مدیریت عرضه و تقاضا و ایجاد رفاه اقتصادی-اجتماعی متوازن یاری دهد. رویکرد پیشنهادی این تحقیق را می‌توان گامی اساسی در راستای تدوین چارچوبی جهت دخیل نمودن نقش معیارهای مهم در نحوه تخصیص آب در شرایط ورشکستگی آب و حل مناقشات محسوب نمود که می‌تواند با تحقیقات بیشتری برای لحاظ سایر عوامل مهم در تصمیم‌گیری تخصیص منابع آبی مشترک، حمایت شود.

پی‌نوشت

1-Proportional
2-Adjusted proportiona
3-Constrained equal awards
4-Constrained equal los
5-Pinile
6-Talmud
7-Sequential sharing rules
8-Nash symmetric
9-Nash asymmetric
10-Cooperative Games
11-Non-Cooperative Games
12-Convex
13-Bounded
14-Individual rationality
15-Lingo14

منابع

کاظمی‌مرشت، پ. و عراقی‌نژاد، ش. ۱۳۹۴. تخصیص آب با استفاده از مدل شکار- شکارچی و مقایسه آن با روش‌های مرسوم حل اختلاف (مطالعه موردی: حوضه آبریز اترک). مجله آب و فاضلاب، ۵(۲۶): ۳-۱۳.

میرشفیعی، س.، انصاری، ح. و میان‌آبادی، ح.۱۳۹۴. روش‌های نظریه ورشکستگی در تخصیص منابع آبی مشترک (مطالعه موردی: رودخانه اترک). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۴(۹): ۶۰۴-۵۹۴.

وزارت نیرو، دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا، گزارش مطالعات بهنگام‌سازی طرح جامع آب کشور- حوضه آبریز اترک.

Aumann R.J. and Maschler M. 1985. Game theoretic analysis of a bankruptcy problem from the Talmud. Journal of Economic Theory, 36(2): 195-213.

Ansink E. and Weikard H.P. 2012. Sequential sharing rules for river sharing problems. Social Choice and Welfare, 38(2): 187–210.

Curiel S., Canto J. and Rodriguez L. 1987. A model for the thermal radio continuum emission produced by a shock wave and its application to the Herbig-Haro objects 1 and 2. Revista mexicana de astronomía y astrofísica, 14: 595-602.

Dagan N. and Volji O. 1993. The bankruptcy problem: A cooperative approach. Mathematical Social Sciences, 26(3): 287-297.

Degefu D.M., He W., Yuan L. and Zhoa J.H. 2016. water allocation in transboundary river basins under water scarcity: a cooperative bargaining approach. Water Resources Management, 30(12): 4451-4466.

Fisher F.M., Arlosoroff S., Eckstein Z., Haddadin M., Hamati S.G., Huber-Lee A., Jarrar A., Jayyousi A., Shamir U. and Wesseling H. 2002. Optimal water management and conflict resolution: The Middle East Water Project. Water resources research, 38(11):321-337.

Gallastegui M.C., Inarra E. and Prellezo R. 2003. Bankruptcy of Fishing Resources: The Northern European Anglerfish Fishery. Marine Resource Economics, 17(4): 291–307.

Harsanyi J.C. 1982. A simplified bargaining model for the n-person cooperative game. In: Harsanyi JC (ed) Papers in game theory, Springer, Netherlands, 260(28): 45-70.

Herinckx H.A., Swart S.C., Ama S.M., Dolezal C.D. and King S. 2005. Rearrest and linkage to mental health services among clients of the Clark County mental health court program. Psychiatr Serv, 56: 853–857.

Kucukmehmetoglu M. and Guldmen J .2004. International Water Resources Allocation and Conflicts: the Case of the Euphrates and Tigris. Environment and Planning A: Economy and Space, 36(5):783-801.

Madani K. and Zarezadeh M. 2012. Bankruptcy methods for resolving water resources conflicts. In: Loucks, D.P. (Ed.), World Environmental and Water ResourcesCongress 2012. American Society of Civil Engineers, 3: 2247- 2252.

Mianabadi H., Mostert E., Zarghami M. and Giesen N. 2013. Transboundary water resources allocation using bankruptcy theory; Case Study of euphrates and tigris rivers. "Transboundary Water Management across borders and interfaces: present and future challenges" Conference, Aveiro, Portugal.

Nash Z. 1950. The bargaining problem. Econometrica, 18(2): 155–162.

Nash Z .1953. Two-person cooperative games. Jornal Of Econometrica Society, 21(1): 128–140.

O'Neill B. 1982. A problem of rights arbitration from the Talmud. Mathematical Social Sciences, 2(4): 345–371.

Roozbahani R., Schreider S. and Abbasi B. 2015. Optimal water allocation through a multi-objective compromise etween environmental, social, and economic preferences. Environ. Model. Softw, 64: 18–30.

Wolf A.T. 1999. Criteria for equitable allocations: the heart of international water conflict. Natural Resources, 23(1): 3-30.

Wu Q.L. and Xu N.R. 1996. Improved interactive methods of multi-objective decision-making based on targetsatisfaction degree. Journal of Management in Engineering, 4: 217–222.

Zarezadeh M., Madani K. and Morid S. 2012. Resolving transboundary water conflicts: lessons learned from the Qezelozan-Sefidrood river bankruptcy problem. World Environmental And Water Resources Congress. Albuquerque, New Mexico, USA.

Zarghami M., and Szidarovszky F. 2011. Multi criteria Analysis Applications to Water and Environment Management, Springer Science & Business Media, Berlin, Germany.