

کلیدواژه‌ها: حوزه آبخیز اترک، آب‌بران، تنازعات آبی، عدالت آبی، آنتروپی تاپسیس

مقدمه

در سال‌های اخیر رشد جمعیت، راندمان پایین مصرف آب و بهبود سطح زندگی انسان‌ها منجر به افزایش روز افزون تقاضا و برداشت بی‌رویه از منابع طبیعی شده است. با توجه به محدودیت منابع آب در دسترس و افزایش برداشت بی‌رویه از آن، بسیاری از حوزه‌های آبخیز با مشکل کمبود آب مواجه می‌باشند. به دلیل وجود ذی‌نفعان مختلف با رویکردهای متفاوت در حوزه‌های مشترک مرزی، مشکلات این حوزه‌ها به نسبت بیش‌تر بوده و تأمین تقاضای آب موجود در این مناطق با چالش بیش‌تری همراه است. بر این اساس، تخصیص بهینه منابع آب در این حوزه‌ها بر اساس مذاکرات و همکاری‌های منطقه‌ای، می‌تواند نقش قابل توجه در کاهش نزاع‌های آبی ایفا نماید [۲۵]. در جهان بیش از ۲۸۰ حوزه مشترک بین‌المللی وجود دارد که بسیاری از آن‌ها با تغییرات هیدرولوژیکی مواجه هستند [۶]. نظر به کاهش منابع آب‌های مرزی و فزونی میزان تقاضا نسبت به منابع آبی در دسترس، درگیری در بین ذی‌نفعان و آب‌بران در حال افزایش است. عامل اصلی این درگیری‌ها به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مسئله‌ی نحوه تخصیص آب می‌باشد [۲۳]. تاکنون مطالعات متعددی در زمینه‌ی تخصیص آب‌های مرزی صورت پذیرفته است. در برخی از این مطالعات، صرفاً از جنبه‌های اقتصادی مسئله مورد بررسی قرار گرفته است، در حالی که در برخی دیگر، جنبه‌های اجتماعی، سیاسی و یا محیطی را نیز لحاظ نموده‌اند [۷ و ۱۸]. توزیع آب در شرایط کمبود آب با مسائل ورشکستگی شباهت دارد. ورشکستگی مفهومی اقتصادی است که در آن مقدار منابع موجود قابل تقسیم بین ذی‌نفعان، کم‌تر از میزان تقاضای موجود باشد. این مفهوم اولین بار توسط اونیل [۱۷] از منظر نظریه بازی‌ها مطرح گردید. به طور خاص، "ورشکستگی آب" را می‌توان وضعیتی نامید که در آن آب موجود در حوزه برای برآورده نمودن تقاضای کل آب، کافی نباشد. پس از مطالعه اونیل [۱۶] بسیاری از محققین مفهوم ورشکستگی را در مسائل تخصیص منابع مشترک محدود، نظیر مسائل منابع آب مشترک بین‌المللی به‌کار گرفتند [۸ و ۱۰]. زارع‌زاده و همکاران [۲۴] با استفاده از قوانین ورشکستگی

استفاده از رویکرد چند معیاره در شرایط ورشکستگی جهت تخصیص بهینه منابع آبی مشترک با به کارگیری روش چانه‌زنی نش نامتقارن

معین ایرانشاهی^۱ و صفر معروفی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۴

چکیده

وجود تصمیم‌گیران و مصرف‌کنندگان متعدد با اولویت‌های مختلف در مسائل مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب، علاوه بر کاهش آب موجود، تنش‌های قابل توجهی به‌ویژه در منابع مشترک در خصوص تخصیص منابع حوزه ایجاد می‌کند. تحت این شرایط، مدیریت مبتنی بر مشخصه‌های انعطاف‌پذیری، عدالت و پایداری می‌تواند نقش مهمی در جلوگیری از ادامه‌ی روند بحران‌زا و کاهش نزاع آب‌بران ایفا نماید. در این پژوهش با استفاده ترکیبی مفاهیم ورشکستگی و چانه‌زنی نش نامتقارن، به ارائه چارچوب تخصیص بهینه منابع آبی مشترک پرداخته شد. حوزه مشترک آبخیز اترک شامل استان‌های گلستان، خراسان‌های شمالی و رضوی به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید. جواب بهینه روش چانه‌زنی با نتایج قوانین ورشکستگی آب مقایسه شد. نتایج نشان داد با لحاظ فرضیات مختلف، مدل پیشنهادی قادر به پوشش نتایج قوانین ورشکستگی متداول می‌باشد. جهت استفاده پائین‌تر، عادلانه و بهینه منابع آبی از چندین شاخص نظیر معیارهای سیاسی، اجتماعی و اقتصادی برای اثرگذاری در مدل پیشنهادی استفاده گردید. با استفاده از آنتروپی-تاپسیس در تعیین وزن نسبی، ملاحظه شد آب‌برانی که در تولید منابع آبی حوزه نقش بسزایی دارند به درصد تأمین عادلانه‌تری، از تقاضای خود دست خواهند یافت. نتایج تخصیص چندمعیاره در استان‌های گلستان و خراسان‌های شمالی و رضوی به‌ترتیب ۱۰۴، ۸۰۹ و ۱۶۴ میلیون مترمکعب در سال است.

۱- دانش‌آموخته کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ایران
۲- نویسنده مسئول و استاد گروه علوم و مهندسی آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ایران. پست الکترونیک: Marofisafar59@gmail.com

نسبی^۱ (P)، ورشکستگی نسبی تعدیل شده^۲ (AP)، مقید به سود یکسان^۳ (CEA)، مقید به ضرر یکسان^۴ (CEL)، که چهار روش شناخته شده از تئوری ورشکستگی هستند، به تخصیص آب حوزه آبخیز قزل‌اوزن- سفیدرود، تحت سناریوهای مختلف بین استان‌های ذی‌مدخل پرداختند و با استفاده از شاخص اکثریت آراء، روش برتر را در این مطالعه روش CEA معرفی کردند. ویکرمیج و همکاران^۵ [۲۱] به تقسیم آب در رودخانه میزوری^۶، طولانی‌ترین رود آمریکای شمالی پرداختند. این رود شاهد اختلافات مکرر بین بالادست و پایین‌دست است. دولت‌های بالادست این رود، آب رودخانه را برای ایجاد فضاهای تفریحاتی ترجیح می‌دهند و دولت‌های پایین دست آب را برای کانال‌ناوبری می‌خواهند. در این مطالعه از قوانین ورشکستگی برای رفع اختلافات و تقسیم آب استفاده گردید، نتایج این تحقیق، دو روش CEA و PRO پس از بررسی‌های صورت گرفته، برای تقسیم آب بین مدعیان پیشنهاد نمودند. شیخ محمدی و مدنی [۲۰] به منظور نمایش کاربرد تئوری ورشکستگی در تخصیص منابع طبیعی مشترک، با استفاده از قوانین ورشکستگی AP، P، CEA، تخصیص ذخایر نفت و گاز موجود در بستر دریای خزر را بین پنج کشور آذربایجان، ایران، ترکمنستان، قزاقستان و روسیه مورد بررسی قرار دادند و پیشنهاداتی برای چگونگی تخصیص این منابع برپایه ادعاها و اولویت‌های پنج کشور ارائه نمودند. میان‌آبادی و همکاران [۱۲] بر اساس معیارهای میزان مشارکت و نیاز آبی مدعیان، رویکردی جهت بازتوزیع منابع آبی مشترک ارائه نمودند و آن را در بازتوزیع رودخانه فرات به کار گرفتند. ایشان همچنین مزیت روش توسعه یافته را نسبت به سایر روش‌های مرسوم ورشکستگی از جمله بررسی SSR based on PRO، CEL، CEA، PRO بررسی نمودند. نتایج نشان داد که روش‌های PRO، CEA، CEL بدون لحاظ نمودن میزان مشارکت هر نماینده، فقط میزان نیاز آن‌ها را در نظر می‌گیرد و روش SSR based on PRO علی‌رغم آنکه قادر است میزان نیاز و مشارکت را در نظر گیرد، اما در همه حال نمایندگان پایین‌دست رودخانه نسبت به بالادست سهم بیش‌تری می‌برند. دگفو و ی^۷ [۵] در پژوهش خود تلاش نمودند آب قابل دسترس پیش‌بینی شده برای حوزه آبخیز فرامرزی رود نیل را بین هشت کشور قرار گرفته در کناره این رود با استفاده از قواعد ورشکستگی تخصیص دهند. به علاوه در این پژوهش روشی برای لحاظ نمودن سهم هر ذینفع، در تولید آب این حوزه آبخیز ورشکسته ارائه شده است که براساس سهم و ارزش نسبی هر ذینفع در ائتلاف کلی محاسبه می‌گردد. در نهایت این پژوهشگران پیشنهاد کردند که میزان آسیب‌پذیری هر

1. Proportional Rule
2. Adjusted Proportional
3. Constrained Equal Award
4. Constrained Equal Losses
5. Wickramage et al
6. Missouri River
7. Degefu and He

ذی‌نفع نسبت به کمبود آب نیز در مطالعات بعدی مورد بررسی قرار گیرد. کاظمی‌مرشت و عراقی‌نژاد [۱۱] به منظور ارائه راهکاری برای مناقشات تخصیص آب در بخش کشاورزی حوزه اترک، از رویکرد برنامه‌ریزی خطی و رویکردهای حل اختلاف نش متقارن^۸، نش نامتقارن^۹، مدل نامتقارن کالای اشمورودینسکی^{۱۰}، مدل نامتقارن خسارت متعادل استفاده نمودند و با استناد به معیارهای اطمینان‌پذیری حجمی و زمانی، و برگشت‌پذیری به این نتیجه رسیدند که در بین مدل‌های حل اختلاف و مدل برنامه‌ریزی خطی، مدل نش نتایج مطلوب‌تری برای ذی‌نفعان خواهد داشت. میرشفیعی و همکاران [۱۳] 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 آن‌جایی که هر روش رویکردی متفاوت نسبت به عدالت دارد، با استفاده از قانون تعدد روش‌های AP، RA، Pin، PRO به عنوان روش‌های مناسب انتخاب شدند. جهت حل اختلافات منابع آبی مشترک و توزیع عادلانه و کارآمد منابع، همکاری آب‌بران برای رسیدن به یک حد مطلوب حائز اهمیت است. غالب مطالعاتی که ذکر گردید از مفاهیم رویه اونیل برای مسئله ورشکستگی آب به عنوان یک بازی همکارانه با مطلوبیت انتقال‌پذیر استفاده نموده‌اند. در این گونه بازی‌ها، توزیع منافع موجب ترغیب بازیگران به انتخاب استراتژی‌هایی، در راستای منافع ائتلاف می‌گردد. با این وجود، نگرش به یک مسئله منابع آبی مشترک در حوزه رودخانه فرامرزی مواجه با کم آبی، به صورت یک بازی با مطلوبیت انتقال‌پذیر با چالش همراه است. داگان و ولیچ^{۱۱} [۴] در پژوهش و تحقیقی نظری، عنوان نمودند که 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. مضافاً اینکه در شرایط کمبود آب، به منظور تحقق مقدار آب مورد نیاز جهت دستیابی به نقطه رضایت آب‌بران، هر آب‌بر احتمالاً به صورت ریسک‌گریز عمل خواهد نمود. تحت این شرایط، در نظر گرفتن مسئله تخصیص آب به صورت یک بازی همکارانه با مطلوبیت انتقال‌پذیر، ممکن است بیانگر واقعیت نباشد. از طرف دیگر، کوریل و همکاران [۳] نشان دادند که در یک بازی با مطلوبیت انتقال‌پذیر، امکان محاسبه سودهای تخصیص بر مبنای سه مفهوم بهینگی پارتو، تقارن و تعادل استراتژیک وجود ندارد. بقرای و مهجوری‌مجد [۲] به منظور ارائه الگویی برای تخصیص آب و تعیین الگوی کشت از تئوری چانه‌زنی نش بر مبنای بازار آب کشاورزی استفاده نمودند. کارایی مدل با کاربرد آن در دشت مهیار شمالی اصفهان در مورد پنج مزرعه مجاور یکدیگر مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج مدل نشان داد که افزایش درآمد کشاورزان در

8. Nash symmetric
9. Nash asymmetric
10. Kalai-Smorodinsky
11. Dagan N. Volji O.
12. Curiel et al.

طول ۳۹ سال می‌باشد. سازمان آب نیز با فروش آب به قیمت جدید و بالاتر از قیمت فعلی می‌تواند به سود چشم‌گیری دست یابد. با در نظر گرفتن دلایل فوق‌الذکر، لحاظ نمودن مسئله توزیع آب، در شرایط ورشکستگی به صورت یک بازی با مطلوبیت انتقال‌ناپذیر مناسب‌تر است.

روش چانه‌زنی نش نامتقارن یکی از بازی‌های با مطلوبیت انتقال‌ناپذیر همکارانه است که می‌تواند برای حل مسائل توزیع منابع میان مدعیانی که ادعاهایشان همپوشانی دارند، به کار گرفته شود و برای کاهش تنازعات استفاده گردد [۱۲]. منابع آبی مشترک ممکن است با رویکرد همکاری و یا درگیری طرفین همراه باشد. به نظر می‌رسد استفاده از رویکردی انعطاف‌پذیر جهت توزیع عادلانه و مناسب آب، می‌تواند به تقویت همکاری میان طرفین و جلوگیری از بروز تنش منجر گردیده و در نتیجه پایداری حوزه از نظر سیاسی، اقتصادی، اجتماعی را به همراه داشته باشد. بر این اساس، ارائه چارچوبی که قادر باشد ضمن لحاظ نمودن اختلافات موجود، منافع و انتظارات طرفین را به صورت عادلانه تأمین نماید، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

حوزه آبخیز اترک، ذی‌نفعان متفاوت با نیازهای مختلفی دارد و منابع آبی سه استان از این حوزه تأمین می‌گردد. در این حوزه منابع آبی موجود جواب‌گوی تقاضا و نیازهای آبی استان‌ها نبوده و هم‌چنین احداث طرح‌های توسعه منابع آبی در استان‌های بالادست حوزه، موجب شده است تا در شرایط خشکسالی، آب ورودی به استان پایین‌دست به مقدار قابل توجهی کاهش یابد. این امر منجر به ایجاد تنازعات و مناقشات منطقه‌ای گردیده است. از این رو حوزه اترک به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. در این تحقیق با استفاده ترکیبی از روش‌های چانه‌زنی و ورشکستگی به ارائه‌ی مدل تخصیص بهینه آب پرداخته و در نهایت با دخیل کردن معیار و شاخص‌های مختلف از هر استان در مدل‌های پیشنهادی، الگوی تخصیص عادلانه‌ای ارائه داده خواهد شد.

مواد و روش‌ها

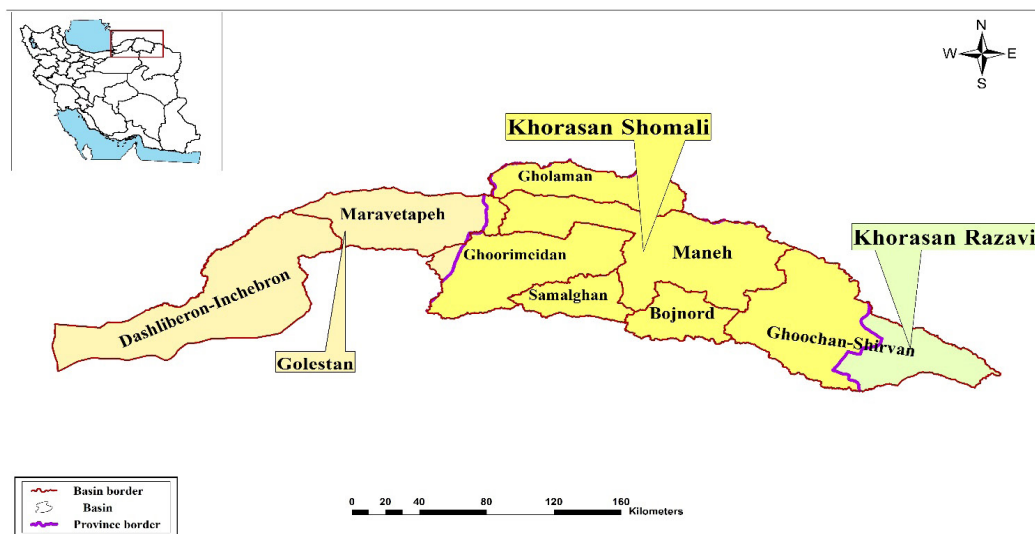
منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز اترک یکی از حوزه‌های آبخیز درجه دو منتهی به دریای خزر است و بخشی از این حوزه که در ایران و شمال شرقی کشور واقع شده، شامل هشت محدوده مطالعاتی به نام‌های قوچان-شیروان، بجنورد، مانه، سملقان، غلامان، قوری‌میدان، مراوه‌تپه و داشلی‌برون-اینچه‌برون می‌باشد. این محدوده‌ها در سه استان خراسان‌رضوی، خراسان‌شمالی و گلستان قرار گرفته‌اند که مساحت محدوده واقع در هر استان به ترتیب ۱۸۸۱، ۱۶۲۲۰ و ۸۲۹۵ کیلومتر مربع می‌باشد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی و سه استانی که دربرگیرنده محدوده‌های مطالعاتی می‌باشند را نشان می‌دهد. در جدول (۱) برخی مشخصات و اطلاعات مربوط به منطقه مورد مطالعه درج شده است. حوزه اترک به دلیل وسعت و اختلاف ارتفاع زیاد منطقه، شرایط را برای ایجاد انواع اقلیم فراهم نموده که به تبع

آن منجر به تنوع محصولات کشاورزی، ایجاد صنایع، گردش‌گری و... گردیده است. حدود ۷۶/۵ درصد از حوزه آبخیز اترک را مناطق کوهستانی و ۲۳/۵ درصد را دشت‌ها تشکیل می‌دهند. متوسط بارش در محدوده مطالعاتی ۳۲۱ میلی‌متر در سال می‌باشد (گزارش جاماب حوزه آبخیز اترک). منابع آب حوزه آبخیز اترک شامل سطحی و زیرزمینی بوده که البته بیش‌تر نیازهای مصارف از آب‌های سطحی تأمین می‌شود. در سال‌های اخیر، افزایش مصارف آب در این حوزه باعث شده است تا نسبت کل حجم آب موجود در حوزه 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 به آن‌ها در قسمت مقدمه اشاره گردید و هم‌چنین استفاده از گزارشات وزارت نیرو، به عبارت دیگر نتایج نشان‌دهنده‌ی این موضوع بوده که، منابع آبی در این منطقه جواب‌گوی نیاز آب‌بران نبوده و حوزه 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.

رویکرد ورشکستگی: به دلیل شباهت مسئله تقسیم آب با مسئله ورشکستگی، می‌توان از قوانین تئوری ورشکستگی در حوزه‌هایی 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. جهت رفع کمبودهای مزبور، در این پژوهش جهت تخصیص بهینه آب رویکرد بهینه‌سازی چانه‌زنی همکارانه در ترکیب با روش ورشکستگی ارائه گردیده 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، روش چانه‌زنی نش نامتقارن مورد استفاده در این تحقیق و هم‌چنین، قوانین متداول ورشکستگی تشریح خواهد شد.

چانه‌زنی نش نامتقارن: در این مطالعه، نظریه چانه‌زنی نش نامتقارن در ترکیب با مفهوم ورشکستگی آبی برای تخصیص آب در حوزه آبخیز 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. در تحقیق



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده‌های مطالعاتی حوزه آبخیز اترک

Fig 1. location of Atrak watershed study areas

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

Table 1. Characteristics of the study area and the status of water resources of the provinces including the Atrak watershed

استان Province	نیاز آبی (م.م.م. در سال) Claim(MCM)	تنش آبی نسبی Relative Water Stress	پتانسیل منابع آب Water Resources Potential	حجم بارش (م.م.م.) Rainfall Volume	درصد مساحت از حوزه Percentage of Area of The Basin
خراسان شمالی KhorasnShomali	1619	0.62	825	5270	6
خراسان رضوی KhorasnRazavi	328	0.75	85	735	7
گلستان Golestan	208	0.55	304	2604	31

نسبی آب بر، d_i نقطه مطلوبیت عدم توافق آب بر i می‌باشد. این رابطه مجموع وزن‌های نسبی برابر یک در نظر گرفته می‌شود ($\sum_{i=1}^n W_i = 1$) این مدل با قیود عقلانیت فردی و کارایی در نظر گرفته شده است و بیشینه تقاضای آب بران (C_i) و کمینه آب تخصیصی به آب بران (m_i) به ترتیب به عنوان حد بالا و پایین تخصیص بهینه به هر استان در نظر گرفته شده‌اند. در این مطالعه ابتدا از منابع آبی موجود در حوزه، نیازهای شرب و زیست محیطی استان‌ها که از نیازهای ضروری بوده تامین گردیده و سپس مقدار منابع آبی باقی مانده به بخش کشاورزی و صنعت تخصیص داده خواهد شد. با توجه به رویکرد عادلانه، کمینه تخصیص آب برای پذیرش استان‌ها به صورت یکسان برابر با ۵۰ درصد تقاضایشان در نظر گرفته شده است، در صورت توجه به ارزش ذاتی آب و استفاده بهینه از آن، می‌توان با این مقدار کمینه‌ی در نظر گرفته شده، اهداف بخش صنعت و کشاورزی را تأمین کرد. در این بخش هم‌چنین (d_i) نقطه عدم توافق برای آب بران می‌باشد، که از رابطه‌ی (۵) تبعیت

نش [۱۵ و ۱۶] نشان داده شده است که مسئله بهینه‌سازی در یک فضای مطلوبیت محدب، بسته و محدود، دارای جواب منحصر به فردی است که مجموعه ویژه با خواص مطلوب را ارضاء می‌نماید. با در نظر گرفتن وزن چانه‌زنی هر آب بر (استان)، مسئله بهینه‌سازی تخصیص آب در شرایط ورشکستگی می‌توان به صورت رابطه ذیل نشان داد [۹]:

$$\text{Maximize } N^{(W_i)} = (f_1(x_1 - d_1)^{(W_1)} \times (f_2(x_2 - d_1)^{(W_2)} \times (f_3(x_3 - d_3)^{(W_3)} \times \dots \times (f_n(x_n - d_n)^{(W_n)} \quad (1)$$

$$f_i(x_i) \geq d_i \quad i=1,2,\dots,n \quad (2)$$

$$m_i \leq x_i \leq C_i \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i \leq E \quad (4)$$

در رابطه (۱)، W_i بیانگر وزن آب بر i ، $f_i(x_i)$ بیانگر تابع مطلوبیت

می‌نماید.

$$d_i = f_i(m_i) \quad (5)$$

قیدهای در نظر گرفته شده در این مسئله بهینه‌سازی در روابط (۲) الی (۴) ارائه شده است. در رابطه (۲) مطلوبیت حاصل از آب تخصیصی برای هر آب‌بر (استان) می‌بایست بیش‌تر یا مساوی مطلوبیت آن در نقطه عدم توافق باشد. رابطه (۳) حد پایین و بالای مصرف آب برای آب‌بران را نشان می‌دهد که بیانگر حقایق و تقاضای آبی می‌باشد. محدودیت اشاره شده در رابطه (۴) نیز نشان می‌دهد که کل آب تخصیصی در حوزه می‌بایست کم‌تر یا مساوی مقدار آب در دسترس مصرف باشد. تابع مطلوبیت برای آب‌بران (استان‌ها) حوزه آبخیز می‌تواند به صورت یک تابع بازه‌ای خطی (رابطه ۶) در نظر گرفته شود [۱۸].

$$f_i(x_i) = \frac{x_i - d_i}{C_i - d_i} \quad (6)$$

رویکرد حل اختلاف در تخصیص منابع آب حوزه آبخیز اترک ارائه شده در این تحقیق در دو حالت مورد تحلیل قرار گرفته است. تابع هدف مدل تخصیص مبتنی بر روش‌های حل اختلاف متقارن نش و نامتقارن نش، نامتقارن بوده که این روش‌ها به تفصیل در مطالعات ضرغامی و زایدروفسکی [۲۶] 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 می‌باشد. 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 به منظور نمایش تأثیر مشارکت وزن‌های چانه‌زنی در خروجی مدل تخصیص آب، و نتیجتاً انعطاف‌پذیری مدل، وزن‌های‌های چانه‌زنی 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. لازم به ذکر است که در این حوزه مطالعاتی منظور از ذی‌نفعان و آب‌بران، استان‌های خراسان شمالی، خراسان رضوی و گلستان می‌باشد. به‌منظور حل تابع نش متقارن و نامتقارن در این حوزه مطالعاتی از مدل لینگو نسخه ۱۴^۱ برای سیستم عامل ۶۴ بیتی که یک مدل بهینه‌ساز با قابلیت حل مدل‌های خطی و غیرخطی است، استفاده شد.

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

۱- قانون ورشکستگی نسبی (PRO) که ارسطو آن را به عنوان

الگویی برای تخصیص عادلانه در نظر گرفت [۴] به این صورت می‌باشد که نسبتی یکسان (p) از ادعای هر کاربر تأمین خواهد شد که این نسبت با استفاده از رابطه‌ی (۷) تعیین می‌شود:

$$\rho = \frac{E}{C} \quad (7)$$

$$X_i^{PRO} = \rho C_i$$

در این روابط E کل موجودی، C مجموع کل نیازهای ذی‌نفعان، X_i سهم هر مدعی، ρ ضریب تخصیص و C_i میزان نیاز هر ذینفع می‌باشد.

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

$$\sum_{i \in N} \text{Min}(C_i, \lambda) \quad (8)$$

که در این روش λ مقداری است که معادله $\sum_{i \in N} \text{Min}(C_i, \lambda) = \frac{x_i - d_i}{C_i - d_i}$ را حل می‌کند. در صورتی که مجموع مقادیر مورد ادعا از موجودی بیش‌تر باشد، λ مقداری منحصر به فرد خواهد بود [۴].

۳- قانون ورشکستگی نسبی تعدیل شده (AP) نیز در مطالعه کوریل و همکاران [۳] مطرح گردید، ابتدا برای هر یک از کاربران مقداری را با توجه به کل موجودی سیستم و مجموع ادعاهای دیگر ذی‌نفعان محاسبه می‌کند که آن را با $(v_i^{(E,C)})$ نشان می‌دهند و بر اساس رابطه‌ی (۹) محاسبه می‌شود:

$$v_i^{(E,C)} = \text{Max} \left\{ 0, E - \sum_{j \neq i} C_j \right\} \quad (9)$$

$v_i^{(E,C)}$ برابر با مقدار واگذار شده از دیگر ذی‌نفعان به ذینفع i می‌باشد که در حقیقت، کمینه میزان تخصیص یافته به هر یک از آن‌ها را نشان می‌دهد. در روش AP برای تخصیص اولیه به فرد i ابتدا نیاز همه مدعیان غیر از فرد i برآورده شده و باقیمانده به فرد i اختصاص داده می‌شود و چنانچه چیزی باقی نماند و یا مقدار باقیمانده منفی محاسبه شود، مقدار صفر به فرد i تخصیص داده می‌شود. از آن‌جا که این روش برای تعیین تخصیص اولیه مدعی i ابتدا سایر نمایندگان را در نظر می‌گیرد و اولویت را به آن‌ها می‌دهد، به تخصیص اولیه، حداقل حق مدعی i گفته می‌شود. تخصیص ثانویه با استفاده از ضربی مشابه باروش نسبی محاسبه می‌گردد (p در رابطه ۷). در این روش بعد از تخصیص اولیه، آنچه از دارایی کل باقی مانده است بر مجموع میزان تقاضای برآورده نشده، تقسیم شده و عدد حاصل به عنوان

Table 2. Water allocation of industry and agriculture based on symmetric Nash bargaining method and common bankruptcy laws

استان Province	نیاز آبی (م.م.م. در سال) Claim(MCM)		وزن چانه‌زنی Bargaining weight	روش بهینه‌سازی چانه‌زنی نش‌متقارن (م.م.م. در سال) Symmetric bargaining optimization method(MCM)	قوانین ورشکستگی متداول (م.م.م. در سال) Bankruptcy Laws(MCM)		
	پیشینه Max	کمینه Min		CEA	PRO	AP	
خراسان شمالی Khorasn Shomali	1619	809.5	0.33	855	678	912	912
خراسان رضوی Khorasn Razavi	328	164	0.33	209.5	328	185	185
گلستان Golestan	208	104	0.33	149.5	208	117	117

ضریب در نظر گرفته می‌شود. این ضریب در میزان نیاز باقی‌مانده هر فرد اعمال و تخصیص ثانویه مشخص می‌شود. بر اساس رابطه (۱۰) حجم کل آب تخصیص یافته به هر ذی‌نفع، مجموع تخصیص اولیه و ثانویه خواهد بود.

$$(10) \quad X_i^{AP} = \begin{cases} v_i + (C_i^E - v_i) \left(\sum_{j \in N} (C_j^E - v_j) \right)^{-1} \left(E - \sum_{j \in N} v_j \right) & \text{if } C > E > 0 \\ C_i & \text{if } E = C \\ 0 & \text{if } E = C \end{cases}$$

تصمیم‌گیری چندمعیاره (روش آنترپوی)

روش آنترپوی^۱ در سال ۱۹۷۴ توسط شانون و ویور^۲ ارائه شده است [۱۹]. آنترپوی بیان‌کننده مقدار عدم اطمینان در یک توزیع احتمال پیوسته است. ایده اصلی این روش آن است که هر چه پراکندگی در مقادیر یک شاخص بیشتر باشد، آن شاخص از اهمیت بیشتری برخوردار است. در یک ماتریس تصمیم‌گیری با m گزینه و n معیار، مراحل این روش به شرح زیر است:

گام اول: تعیین P_{ij} (۱۱)

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}}$$

گام دوم: تعیین آنترپوی هر شاخص

$$E_j = -K \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij}), \quad K = \frac{1}{\ln m} \quad (12)$$

گام سوم: تعیین عدم اطمینان هر شاخص (d_j)

$$d = 1 - E_j \quad (13)$$

گام چهارم: تعیین وزن هر شاخص (w_j)

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^n d_j} \quad (14)$$

در اینجا به شرح مدل تاپسیس^۳ که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است پرداخته می‌شود. اساس این تکنیک بر این مفهوم استوار است که گزینه‌های انتخابی باید کم‌ترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل مثبت و بیش‌ترین فاصله را با ایده‌آل منفی داشته باشد. حل مسئله مستلزم شش گام است [۱۴].

1. Entropy
2. Shannon and Weaver
3. Topsis

- کمی کردن و بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم (N).
 $v_{ij} = r_{ij} w_j$ (v) - به دست آوردن ماتریس بی‌مقیاس موزون
 - تعیین راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی:
 راه‌حل ایده‌آل مثبت = [بردار بدترین مقادیر هر شاخص ماتریس]
 راه‌حل ایده‌آل منفی = [بردار بدترین مقادیر هر شاخص ماتریس]
 بهترین مقادیر برای شاخص‌های مثبت، بزرگترین مقادیر و برای شاخص‌های منفی کوچک‌ترین مقادیر است و بدترین مقادیر شاخص‌های مثبت، کوچک‌ترین مقادیر و برای شاخص‌های منفی، بزرگترین مقادیر است [۱۴].

- به دست آوردن میزان فاصله هر گزینه تا ایدآل‌های مثبت و منفی:

$$d_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+) \right\}^{1/2}, \quad (i=1,2,...,n) \quad (15)$$

$$d_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-) \right\}^{1/2}, \quad (i=1,2,...,n)$$

- تعیین نزدیکی نسبی:

$$cl_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}, \quad (i=1,2,...,n) \quad (16)$$

رتبه‌بندی گزینه‌ها: گزینه‌ای که CL آن بزرگتر باشد بهتر است [۱۴].

نتایج

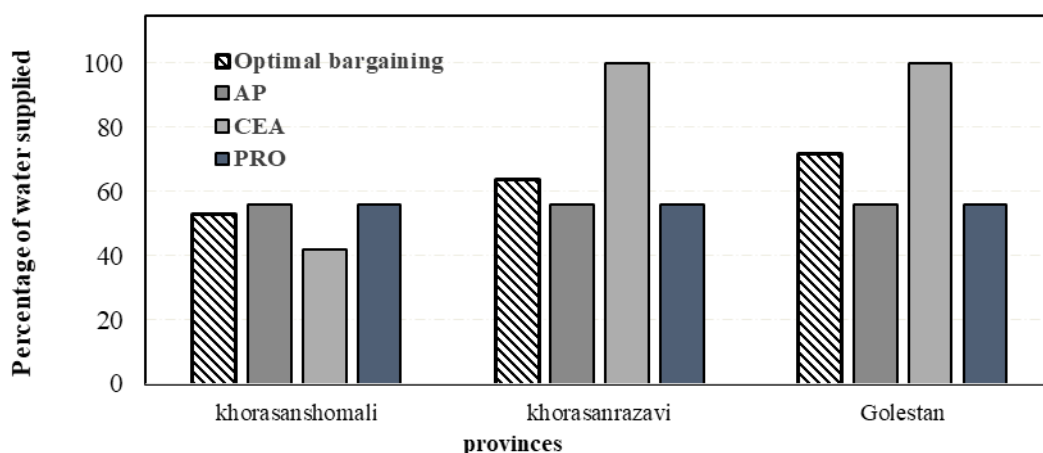
حالت وزن نسبی یکسان: با در نظر گرفتن وزن نسبی یکسان برای هر آب‌بر (استان) در مدل چانه‌زنی نش نامتقارن، معادل روش چانه‌زنی نش متقارن استنتاج می‌شود. جدول (۲) نتایج تخصیص آب بخش صنعت و کشاورزی به آب‌بران تحت حالت نش متقارن (وزن نسبی یکسان) آب‌بران و همچنین مقادیر آب تخصیصی طی سه قانون ورشکستگی متداول AP، PRO و CEA را نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌گردد، در روش نش متقارن استان خراسان شمالی با مقدار آب تخصیصی ۸۵۵ میلیون مترمکعب در سال بیش‌ترین و استان گلستان با مقدار ۱۴۹/۵ میلیون مترمکعب در سال کم‌ترین مقدار آب تخصیصی را دارا می‌باشند همچنین، نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که اگرچه الگو و رتبه تأمین آب میان استان‌ها در نتایج سه قانون ورشکستگی مشابه روش چانه‌زنی نش متقارن می‌باشد، ولی مقادیر تخصیص آب با روش چانه‌زنی نش متقارن، متفاوت است.

تأمین شده است، ولی نیاز آبی استان خراسان شمالی به میزان ۴۲ درصد تأمین شده است. علت این امر آن است که طبق ساختار 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)، به عنوان تخصیص اولیه در نظر گرفته می‌شود. استان گلستان با تأمین تمامی نیاز آبی خود، در مرحله دوم تخصیص در نظر گرفته نمی‌شود. سپس 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 می‌گردد. سپس از منابع آبی باقی‌مانده به استان خراسان شمالی اختصاص می‌یابد.

وزن نسبی متفاوت: به منظور نمایش تأثیر وزن‌های چانه‌زنی بر روی نتایج مدل پیشنهادی، روش چانه‌زنی نش نامتقارن تحت وزن‌های نسبی مختلف چانه‌زنی آببران مورد بررسی قرار گرفت. جدول (۳) نتایج تخصیص آب حاصل از به کارگیری روش چانه‌زنی نش نامتقارن در مقایسه با قانون ورشکستگی متداول PRO بر اساس وزن نسبی مبتنی بر ادعای آببران (بیشینه نیاز آبی) نشان می‌دهد. همان‌گونه که در جدول (۳) ملاحظه می‌گردد، هنگامی که وزن نسبی چانه‌زنی نش نامتقارن متناسب با نیاز آبی بیشینه آببران تعیین گردد، در ملاحظه می‌گردد، هنگامی که وزن نسبی چانه‌زنی نش نامتقارن متناسب با نیاز آبی بیشینه آببران تعیین گردد، در این صورت نتایج روش حل چانه‌زنی نش نامتقارن برای مسئله توزیع آب برای هر آببر که شرط $E \leq C(N/i)$ (E بیانگر منابع آبی موجود و $C(N/i)$ نشان‌دهنده تقاضای آببران) را ارضاء می‌نماید، معادل با نتایج حاصل از به کارگیری قانون PRO خواهد بود. این نتیجه با نتیجه داگان و ووجلی [۴]. که اعلام نمودند هنگامی که وزن نسبی روش چانه‌زنی نش نامتقارن مبتنی بر ادعای آببران باشد، نتایج

شایان ذکر است که مقدار آب تخصیصی با قانون ورشکستگی AP و PRO مشابه است. علت نتایج مشابه این دو روش آن است که حل این دو روش حاصل از ضرب ضریبی (منظور از ضریب، ρ در رابطه ۷ می‌باشد) در مقدار بیشینه تقاضای آبی آببران می‌باشد که در مطالعه موردی این تحقیق مقدار ضریب محاسباتی دو روش یکسان است. برای استان خراسان شمالی مقادیر آب تخصیصی با قوانین ورشکستگی AP، PRO به ترتیب 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 متر مکعب 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 متر مکعب در سال بیش‌تر از آب تخصیصی توسط روش چانه‌زنی (۲۰۹/۵) می‌باشد. برای استان گلستان نیز روند مشابه با استان خراسان رضوی مشاهده گردید، به‌طوری که مقدار آب تخصیصی با روش AP و PRO (۱۱۷) بیش‌تر و روش CEA (۲۰۸) کم‌تر از آب تخصیصی با روش چانه‌زنی (۱۴۹/۵) است.

شکل (۲) 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، PRO و CEA را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که درصد آب تأمین شده طی روش چانه‌زنی نش متقارن برای استان‌های خراسان شمالی، خراسان رضوی و گلستان به ترتیب ۵۳، ۶۴ و ۷۲ می‌باشد. در روش چانه‌زنی نش متقارن به دلیل آنکه وزن‌های نسبی یکسان در نظر گرفته می‌شود، جواب تابع بهینه چانه‌زنی نش متقارن صرفاً وابسته به مقادیر بیشینه و کمینه تقاضای آببران، بوده و از وزن‌ها تأثیر نمی‌پذیرد. شکل (۲) هم‌چنین نشان می‌دهد که تحت روش CEA مقدار نیاز آبی بخش صنعت و کشاورزی دو استان خراسان رضوی و گلستان به‌طور کامل



شکل ۲- مقادیر درصد آب تخصیصی به نیاز آبی بخش صنعت و کشاورزی طی روش چانه‌زنی نش متقارن و سه قوانین ورشکستگی
Fig 2. Percentage of water allocated to the water requirement of the industrial sector industry and agriculture through symmetric Nash bargaining and three common bankruptcy laws

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

Table 3. Water allocation of industrial and agricultural sectors based on asymmetric Nash bargaining method in terms of relative weight based on claim (maximum water requirement) of water intake and current PRO bankruptcy law

استان Province	نیاز آبی (م.م.م. در سال) Claim(MCM)	وزن چانه‌زنی Bargaining weight	روش بهینه‌سازی چانه‌زنی نش نامتقارن (م.م.م. در سال) Asymmetric bargaining optimization method (MCM)	قانون ورشکستگی PRO (م.م.م. در سال) Bankruptcy Law (MCM) PRO	درصد تامین آب Percentage of water supply
خراسان شمالی KhorasnShomali	1619	809.5	0.75	912	56
خراسان رضوی Khorasn Razavi	328	164	0.15	185	56
گلستان Golestan	208	104	0.1	117	56

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

Table 4. Water allocation of industrial and agricultural sector based on asymmetric Nash bargaining method with zero disagreement point and CEA bankruptcy law

استان Province	نیاز آبی (م.م.م. در سال) Claim(MCM)	وزن چانه‌زنی Bargaining weight	روش بهینه‌سازی چانه‌زنی نش متقارن (م.م.م. در سال) Symmetric bargaining optimization method (MCM)	قانون ورشکستگی CEA (م.م.م. در سال) Bankruptcy Law (MCM) CEA	درصد تامین آب Percentage of water supply
خراسان شمالی KhorasnShomali	1619	0	0.33	678	43
خراسان رضوی Khorasn Razavi	328	0	0.33	328	100
گلستان Golestan	208	0	0.33	208	100

نسبی، سهم‌آبه و نیاز آبی (نقطه عدم توافق)، نتایج و حالات مختلف و هم‌چنین قوانین ورشکستگی متداول را پوشش دهد. از آنجایی که با افزایش تقاضای آب و کاهش جریان رودخانه، مجادله بر سر آب افزایش می‌یابد، می‌توان عنوان نمود که این روش شناختی تخصیص آب نسبت به تغییر نیاز آبی و آب در دسترس نیز انعطاف‌پذیر است. این ویژگی (انعطاف‌پذیری) کمک می‌نماید. که با تنظیم متغیرهای مسئله با شرایط جدید، ایجاد امکان مذاکره و اجرای مجدد فرآیند بهینه‌سازی، میزان آب تخصیصی بر اساس معیارهای دخیل، منطبق و به‌روزرسانی گردد. این مسئله هم‌چنین می‌تواند از ایجاد کشمکش آتی بر سر آب و ایجاد مخاطرات ناشی از ادعای آتی محتمل آب‌بران در حوزه آبخیز، جلوگیری نماید.

همان‌گونه که در نتایج جدول (۲) ملاحظه گردید، روش چانه‌زنی نش متقارن متأثر از مقادیر کمینه و بیشینه نیاز آبی می‌باشد، به طوری که 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 جداول (۲) و (۳) نشان می‌دهد که چگونه در روش چانه‌زنی نش نامتقارن، علاوه بر تأثیرگذاری مقادیر کمینه و بیشینه نیاز آبی، مقدار وزن نسبی

تخصیص حاصل از مدل چانه‌زنی نش نامتقارن در شرایط مسئله ورشکستگی متناظر با نتایج تخصیص حاصل از قانون ورشکستگی PRO می‌باشد، در موافقت 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 به کارگیری روش شناختی پیشنهادی و قوانین ورشکستگی متداول مورد بررسی در این تحقیق را بر اساس وزن نسبی یکسان ولیکن بیشینه نیاز آبی معادل با نقطه عدم توافق برابر با صفر ($d=0$) ارائه شده است. 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 صورت پذیرفته است. به عبارت دیگر، هنگامی که وزن نسبی یکسان لحاظ شود و حقایق برای توافق یا عدم توافق در نظر گرفته نشود، نتایج روش چانه‌زنی نش متقارن معادل با قانون CEA می‌باشد. تحت این شرایط، درصد تأمین آب برای استان‌های خراسان شمالی، خراسان رضوی و گلستان به ترتیب ۴۳ و ۱۰۰ و ۱۰۰ می‌باشد. بر اساس جداول (۳) و (۴) می‌توان بیان نمود که روش چانه‌زنی نش پیشنهادی، مدلی انعطاف‌پذیر است، به نحوی که قادر است. با انتخاب وزن

جدول ۵- ماتریس تصمیم آنتروپی شانون
Table 5. Shannon entropy decision matrix

استان Province	تنش آب نسبی Relative water stress	آب به حساب نیامده Water is not counted	شاخص آب مجازی Virtual water index	پتانسیل آب قابل برنامه ریزی Programmable water potential	پتانسیل منابع خاک Potential of soil resources	بهره‌وری Efficiency	پراکنش جمعیتی Population distribution	مساحت استان نسبت به حوزه The area of the province relative to the basin
خراسان شمالی Khorasn Shomali	62	73.2	0.94	113268.5	0.85	1.1	48	0.62
خراسان رضوی Khorasn Razavi	7.66	19.1	1.22	20431.76	0.61	0.8	40	0.75
گلستان Golestan	30.94	7.6	0.8	23820.79	0.71	1.25	36	0.55

جدول ۶- فاصله از ایده‌آل‌ها و شاخص شباهت روش تاپسیس
Table 6. index Distance from ideals and TOPSIS similarity

استان Province	D+	D-	امتیاز نهایی Final score	امتیاز نهایی نرمال (وزن) Normal final score (weight)	رتبه Rank
خراسان شمالی Khorasnshomali	0.003	0.452	0.993	0.776	1
خراسان رضوی Khorasanrazavi	0.415	0.056	0.119	0.093	3
گلستان Golestan	0.418	0.084	0.168	0.131	2

بودن مسئله آب و مدیریت آن، در نظر گرفتن شرایط، نیازها، روابط اجتماعی، سبک معیشتی و اقتصادی، نوع منبع آب و هیدرولوژی آن، ارزش‌ها و سبک زندگی و سطوح قدرت در سطح محلی، عدالت آبی برای هر منطقه آبی مختص آن منطقه و گاه متفاوت با مناطق دیگر تعریف می‌شود. از این‌رو، در این مدل با در نظر گرفتن معیارهای مشخصی که در تمامی استان‌های حوزه موجود بوده استفاده گردید و با استفاده از مدل چند معیاره آنتروپی- تاپسیس وزن استان‌های خراسان شمالی، خراسان رضوی و گلستان به ترتیب ۰/۷۷۶، ۰/۰۹۳ و ۰/۱۳۱ تعیین گردید. در نهایت با استفاده از مدل پیشنهادی روش بهینه چانه‌زنی نش استفاده گردید و به ترتیب به استان‌های خراسان شمالی، خراسان رضوی و گلستان ۹۱۵، ۱۷۷ و ۱۲۲ میلیون مترمکعب از تقاضای کشاورزی و صنعت تامین داده شد. قابل ذکر است که روش چانه‌زنی نش نامتقارن پیشنهادی، مدلی انعطاف‌پذیر است به نحوی که قادر است با انتخاب وزن نسبی، حقابه و نیاز آبی (نقطه عدم توافق)، نتایج و حالات مختلف را نیز پوشش دهد. از آنجایی که با افزایش تقاضای آب و کاهش جریان رودخانه، مجادله بر سر آب افزایش می‌یابد، می‌توان عنوان نمود که این روش شناختی تخصیص آب نسبت به تغییر نیاز آبی و آب در دسترس نیز انعطاف‌پذیر است. این ویژگی (انعطاف‌پذیری) کمک می‌نماید که با تنظیم و انطباق متغیرهای مسئله با شرایط جدید و ایجاد امکان مذاکره، فرآیند بهینه‌سازی تکرار شده و میزان آب تخصیصی بهینه به آب‌بران به‌روزرسانی گردد. این مسئله هم‌چنین

تعیین شده نیز در مقدار آب تخصیصی به آب‌بران تأثیرگذار می‌باشد. اثرگذاری وزن نسبی در مدل چانه‌زنی نش نامتقارن که می‌تواند بر مبنای مختلف در نظر گرفته شود، می‌تواند منجر به انطباق و انعطاف مدل به واقعیات موجود گردد به‌طوری که امکان دستیابی به نتایج و تحلیل‌های مختلف را فراهم آورده و امکان توزیع عادلانه آب در میان بالادست و پایین‌دست حوزه را فراهم می‌نماید. در حال حاضر در حوزه‌ی اترک، استان‌های بالادست استفاده بیشتری از منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌نمایند، به گونه‌ای که حوزه دارای وضعیت ناپایداری بوده و از نظر تأمین نیازهای استان‌ها، با مشکل مواجه می‌باشد.

تخصیص عادلانه در حوزه اترک

در این پژوهش هشت معیار اصلی (تنش آبی نسبی، آب به حساب نیامده، شاخص آب مجازی، پتانسیل آب قابل برنامه‌ریزی، پتانسیل منابع خاک، بهره‌وری، پراکنش جمعیتی، مساحت استان نسبت به حوزه) به‌عنوان گزینه در نظر گرفته شده‌است. اطلاعات این بخش از گزارشات وزارت نیرو (گزارش جاماب) استناد گردیده است. هدف روش آنتروپی وزن‌دهی به معیارها می‌باشد. ابتدا ماتریس تصمیم این روش تشکیل می‌شود که در جدول ۵ آورده شده است.

تعیین شاخص شباهت (cl) رتبه‌بندی نهایی

شاخص شباهت از تقسیم فاصله ایده‌آل منفی بر مجموع ایده‌آل مثبت و منفی حاصل می‌شود و بر اساس آن می‌توان رتبه گزینه‌ها را محاسبه کرد. نتایج در جدول ۶ آورده شده‌است. با توجه به محلی

جدول ۷- تخصیص آب بخش صنعت و کشاورزی بر اساس روش چانه‌زنی نش نامتقارن با وزن نسبی مبتنی بر چند معیاره آنتروپی - تاپسیس آب‌بران

Table 7. Water Allocation of Industry and Agriculture Sector Based on Asymmetric Nash Bargaining Method with Relative Weight Based on Multiple Entropy-Topsis Criteria

استان Province	نیاز آبی Claim		وزن چانه‌زنی Bargaining weight	بهینه‌سازی چانه‌زنی نش متقارن Asymmetric bargaining optimization method	درصد تامین آب Percentage of water supply
	کمینه Min	بیشینه Max			
خراسان شمالی Khorasn Shomali	809.5	1619	0.635	915	56
خراسان رضوی Khorasn Razavi	164	328	0.081	177	54
گلستان Golestan	104	208	0.284	122	59

انعطاف‌پذیر، واقع‌بینانه و عادلانه، از رویکرد چانه‌زنی نش نامتقارن استفاده شد. این مدل در حوزه آبخیز اترک مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج آن با برخی از قوانین متداول ورشکستگی مورد مقایسه قرار گرفت. یافته‌های تحقیق نشان داد، هنگامی که 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 هنگامی که 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. تخصیص عادلانه راهکار است که می‌تواند مشکل اکثر تنش‌های آبی و اختلاف بین ذی‌نفعان را در یک حوزه آبخیز مشترک مرتفع سازد. از این رو جهت برقراری عدالت در توزیع آب در بالادست و پایین‌دست حوزه و کاهش ناپایداری منابع آب، در انتخاب وزن‌های نسبی آب‌بران مدل پیشنهادی، علاوه بر کمینه و بیشینه نیاز آبی، از رویکرد چندمعیاره برای اولویت‌بندی در تخصیص آب به استان‌ها استفاده شد. در این تحقیق تعدادی از شاخص‌های پایداری منابع آب، اقتصادی، اجتماعی، کشاورزی و... استفاده گردید، که این شاخص‌ها عبارتند از: تنش آبی نسبی، آب به حساب نیامده، شاخص آب مجازی، پتانسیل آب قابل برنامه‌ریزی، پتانسیل منابع خاک، بهره‌وری، پراکنش جمعیتی، مساحت استان نسبت به حوزه، در نهایت با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چند معیاره، اولویت‌بندی تخصیص آب به استان‌های حوزه آبخیز اترک، بر اساس شاخص‌ها و معیارهای عادلانه و پایدار پرداخته شد. کلیه شاخص‌ها بر اساس روش آنتروپی شانتون، وزن‌دهی شده و سپس بر اساس مدل تاپسیس، رتبه‌بندی و وزن‌دهی استان‌ها انجام گرفت. تحت این شرایط، در مدل پیشنهادی نش نامتقارن، وزن‌های استان‌های خراسان شمالی، گلستان و خراسان رضوی به ترتیب ۰/۶۳۵، ۰/۲۸۴ و ۰/۰۸۱ قرار داده شد. فراهم نمودن امکان مذاکره بین آب‌بران از طریق انتخاب وزن نسبی

می‌تواند از ایجاد کشمکش آبی بر سر آب و ایجاد مخاطرات ناشی از ادعای آبی محتمل آب‌بران در حوزه آبخیز، جلوگیری نماید. همان‌گونه که در نتایج جدول (۲) ملاحظه گردید، روش چانه‌زنی نش متقارن متأثر از مقادیر کمینه و بیشینه نیاز آبی می‌باشد، به‌طوری که طی این روش، فارغ از پتانسیل آبی 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 (۷) نشان می‌دهد که چگونه در روش چانه‌زنی نش نامتقارن، علاوه بر تأثیرگذاری مقادیر کمینه و بیشینه نیاز آبی، مقدار وزن نسبی تعیین شده نیز در مقدار آب تخصیصی به آب‌بران تأثیرگذار می‌باشد. تأثیرگذاری وزن نسبی در مدل چانه‌زنی نش نامتقارن که می‌تواند بر مبناهای مختلف در نظر گرفته شود، می‌تواند منجر به انعطاف‌پذیری مدل گردد به طوری که امکان دست‌یابی به نتایج و تحلیل‌های مختلف را فراهم می‌آورد. در حال حاضر در حوزهی اترک استان‌های بالادست به نسبت استفاده بیشتری از منابع آب سطحی وزیرزمینی می‌نمایند، به گونه‌ای که حوزه دارای وضعیت ناپایداری بوده و از نظر تأمین نیازهای استان‌ها، با مشکل مواجه می‌باشد. چنانچه وزن‌های نسبی مدل چانه‌زنی نامتقارن بر مبنای معیارهای هشت‌گانه هر استان در نظر گرفته شود، که می‌تواند به نتایج عادلانه‌تر تخصیص آب منجر گردد. جدول (۷)، نتایج تخصیص آب صنعت و کشاورزی متناسب با وزن‌های نسبی مبتنی بر پتانسیل منابع آبی هر آب‌بر را نمایش می‌دهد. تحت این شرایط، درصد تأمین آب برای استان‌های خراسان شمالی، خراسان رضوی و گلستان به ترتیب ۵۶، ۵۴ و ۵۹ می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

فشار بیش از حد به منابع آب بدون توجه به پتانسیل موجود، می‌تواند باعث عدم توسعه متوازن مناطق گردد. 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. به منظور ارائه مدل

11. KazemiMeresht, P. and Araghinejad, S. 2016. Provincial Water Resource Allocation in Agricultural Sector Using Conflict Resolution Methods in Atrak Basin. *Journal of Water and Soil*, 30(6), 1820-1831. (In Persion)

12. 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.

13. Mirshafee, S. Ansari,H. and Mianabadi,H. Bankruptcy Methods in Transboundary Rivers Allocation Problems Case study: (Atrak river) *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*No. 4, Vol. 9,Oct.-Nov.2015, p. 594-604.(In Persion)

14. Momeni, M. 2006. *New Topics in Operations Research* (1th Ed). The Tehran University Press, Tehran, (In Persian)

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

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

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

18. Roozbahani, R. Schreider, S. and Abbasi, B.2015. Optimal water allocation through a multi-objective compromise. preferences. *Environ. Model. Softw.* 64, C (February 2015), 18-30.

19. Shannon, C E. and Weaver,W. 1974. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana, Illinois: University of Illinois Press,194.

20. Sheikhmohammady, M. and Madani, K. 2008. Sharing a multi-national resourcethrough bankruptcy procedure. *Proceeding of the 2008 World Environmental and Water Resources Congress*, Honolulu, Hawaii, Edited by Babcock R. W. and Walton R., 1-9, American Society of Civil Engineers.

21. Wickramage, H. W. DavidC.Robert, D.C. and Hearne, R. 2020. Water Allocation Using the Bankruptcy Model: A case Study of the Missouri River. *Journal of Water*.2020..12,619.

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

23. 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.

24. Zarezadeh,M., Madani,K., Morid,S. 2012. Resolving transboundary water conflicts: lessons learned from the Qezelozan-Sefidrood river bankruptcy problem. In: *World Environmental*

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 کمبود آب و حل مناقشات محسوب نمود که می‌تواند با تحقیقات بیشتری برای لحاظ سایر عوامل مهم در تصمیم‌گیری تخصیص منابع آبی مشترک، مورد حمایت قرار گیرد.

منابع

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

2. Boghraie, H.and Mahjourimajid, N. (2019). -. *Iran Water Resources Research*, 15(1), 137-153. (In Persion)

3. Curiel, S. Canto, J. and Rodriguez, L. 1897. 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.

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

5. Degefu, D.M., He W. Yuan L. and Zhao J.H.2016. water allocation in transboundary river basins under water scarcity: a cooperative bargaining approach. *Water Resources Management*.30(12):4514466.

6. DeStefano, L. Duncan, J. Dinar, S.K. Stahl, K. Strzepek, A. and Wolf, T. 2012. Climate Change and the Institutional Resilience of International River Basins. *Journal of Peace Research*. 49.1: 193- 209.

7. 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):321337.

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

9. Harsanyi, J.C. 1982. A simplified bargaining model for the n-person cooperative game. In: Harsanyi JC (ed) *Papers in game theory*. Springer. Netherlands.263 pp.

10. 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.

26. Zarghami, M. and Szidarovszky, F. 2011. Multi criteria Analysis Applications to Water and Environment Management, Springer, pp. 95-104.

and Water Resources Congress 2012. American Society of Civil Engineers, Reston, VA, pp. 2406e2412.

25. 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 Persion)

Employing a Multi-Criteria Approach under Bankruptcy Conditions for Optimal Allocation of Shared Water Resources through Using Asymmetric Nash Bargaining Method

M. Iranshahi¹, S. Marofi²

Received: 14-09-2020 Accepted: 15-10-2020

Abstract

Management based on the flexibility, fairness, and sustainability characteristics of water resources may play a key role in preventing the continuation of the crisis process as well as reducing water users' conflict. In the present research, the framework for the optimal allocation of shared water resources was presented using a combination of bankruptcy concepts and asymmetric Nash bargaining. To this end, Atrak basin including Golestan, Northkhorasan, and Razavikhorasan provinces was chosen as the study area. The optimal answer to the bargaining method was compared with the results of water bankruptcy rules. The results revealed that considering different hypotheses, the proposed model could cover the results of common bankruptcy rules. Subsequently, for optimal and sustainable use of water resources in the studied basin, several indices like political, social, and economic criteria were employed to include and investigate the effect in the proposed model. Using Topsis-Entropy in the determination of the relative weight, it was observed that water users playing the key role in the water resources production in the basin would obtain a more equitable supply percentage of their demand. The results of multi-criteria water allocation in Golestan, Northkhorasan, and Razavikhorasan provinces respectively are 104, 809, and 164 MCM per year.

Keywords: *Atrak basin, Water users, Water conflicts, Water justice, Topsis- Entropy*

1. Graduate Master of Water Resources Engineering, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamadan, Iran.

2. Corresponding Author and Professor, Department of Water Science and Engineering, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamadan, Iran. Email: Marofisafar59@gmail.com