Archive of SID
DOI: 10.22059/ijswr.2018.260256.667948

تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۵، مهر ۱۳۹۸ (ص۱۱۵۱-۱۱۴۱)

Reallocation of Water Resources in Transboundary River Basins Using the Bankruptcy Approach

MOTAHAREH SADAT[1], MOJTABA SHOURIAN[2*], ALI MORIDI[3]

1. MSc Graduate, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Technical and Engineering College, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
2. Assistant Professor, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Technical and Engineering College, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
2. Assistant Professor, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Technical and Engineering College, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

(Received: July. 4, 2018- Revised: Oct. 19, 2018- Accepted: Nov. 10, 2018)

ABSTRACT

Decreasing the accessible water that is because of the natural effects such as warming the earth, population daily increase and increasing of the water requirement have caused that water allocation become one of the most important problems. This issue especially in Transboundary Rivers which pass from several countries also produces the political problems. Therefore, cross-border water resources management is imperative. One of the strategies for water resources management is optimization of resources allocation. In boundary watershed that has several beneficiaries, it is necessary to interest to the satisfaction of all the stakeholders to prevent the occurrence of conflicts between them. To achieve these goals can be use from methods of dispute resolution and optimization of water resources allocation. In this study, the Aras Border River is investigated. To solve the water problems in the basin use from subset of bankruptcy dispute resolution procedure simultaneously the particle group algorithm (PSO). The results show the superiority of Constrained Equal Loss method that results the more average of allocation for total needs. Considering that the Aras watershed is border In the process of allocation of water in the basin should be fitted to the consent of all the stakeholders to prevent of conflict between them. To solve the water issues in the basin use of the bankruptcy dispute resolution method with the optimum particle group algorithm in the allocation of resources. The results show the superiority of Constrained Equal Loss method that result more average allocation for total needs of basin. But in this way the applicant with the least need that is Turkey in this basin, be fitted in last priority. Given that this country is located in the upstream basin, apply this method in this area need to realization of alternative facilities for Turkey and satisfying the stakeholders in this country.

Keywords: Water Resources Reallocation, Transboundary River Basin, Bankruptcy Methods, PSO.

*Corresponding Author's Email: m_shourian@sbu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

بازتوزیع تخصیص منابع آب در حوضه‌های آبریز مشترک مرزی با استفاده از رویکرد ورشکستگی

مطهره سادات[۱]، مجتبی شوریان[۲*]، علی مریدی[۲]

۱ .کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، پردیس فنی و مهندسی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲ . استادیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، پردیس فنی و مهندسی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۳. استادیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، پردیس فنی و مهندسی دانشگاه شهید بهشتی ، تهران، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۱۳- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۷/۲۷- تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۸/۱۹)

چکیده

کاهش منابع آب قابل دسترس بر اثر عوامل انسانی و طبیعی و توسعه کشورها و افزایش نیاز به آب، تخصیص عادلانه منابع آب را به مسئله‌ای پر اهمیت تبدیل کرده است. این مسئله در حوضه‌های آبریز مرزی که بین دو یا چند کشور مشترک است، می‌تواند مناقشات سیاسی نیز به دنبال داشته باشد. حوضه آبریز مرزی رودخانه ارس بین چهار کشور ترکیه، ارمنستان، آذربایجان و ایران مشترک بوده و توسعه و افزایش برداشت از رودخانه در کشورهای بالادست، تأمین نیازهای آبی در مناطق پایین‌دست خصوصاً ایران را با مشکل مواجه ساخته است. در تحقیق حاضر، مسئله بازتوزیع بهینه تخصیص منابع آب در حوضه آبریز ارس با استفاده از ترکیب روش‌های حل اختلاف ورشکستگی و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (Particle Swarm Optimization) بررسی شده است. نتایج به دست آمده برتری روش مقید به ضرر یکسان را نسبت به سایر روش‌های ورشکستگی نشان می‌دهد به‌طوری که میانگین تأمین نیازهای آبی در حوضه در سناریوی ۲۰۲۰ در حدود دو میلیارد مترمکعب و در سناریوی ۲۰۵۰ در حدود ۱/۵ میلیارد مترمکعب نسبت به سایر روش‌های ورشکستگی افزایش می‌یابد. در این روش متقاضی با کمترین مقدار تقاضا که کشور ترکیه است در اولویت آخر قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه این کشور در بالادست حوضه واقع شده است، اعمال نتایج این روش نیازمند در نظرگیری تسهیلات جایگزین و جلب رضایت ذینفعان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بازتوزیع بهینه تخصیص منابع آب، حوضه آبریز مرزی، روش ورشکستگی، الگوریتم ازدحام ذرات.

مقدمه

افزایش روز افزون نیاز به آب و کاهش میزان آب قابل دسترسی برای تأمین نیازها توجه محققین و سیاست‌گذاران را بیش از پیش به مدیریت صحیح منابع آب جلب کرده است. روش‌های متعددی برای مدیریت منابع آب پیشنهاد و به کار گرفته شده است اما با افزایش مناقشات بین بهره‌برداران در تخصیص منابع آبی مشترک، روش‌های معمول جای خود را به روش‌های مبتنی بر حل اختلاف داده‌اند. هدف این روش‌ها تخصیص منابع آب با رویکرد حل اختلاف موجود بین بهره‌برداران می‌باشد. یکی از این روش‌ها، روش ورشکستگی[۱] است. کاربرد این روش‌ها در مسائلی است که موجودی کمتر از درخواست بوده و حالتی مشابه ورشکستگی یک فرد به وجود می‌آید. با استفاده از این روش برای تخصیص منابع آب، می‌توان بروز منازعات بین ذینفعان را به حداقل رساند. در زمینه بروز منازعه بین بهره‌برداران مختلف بک منبع آب و روش‌های حل آن مطالعات گسترده‌ای در دهه اخیر صورت گرفته است. Kloos et al. (2013) عرضه و تقاضای آب و تأثیر آن بر ظرفیت ایجاد منازعات آبی داخلی کشورها را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که پایداری سیاسی، اصلی‌ترین نقش را در حل و فصل منازعات بر عهده دارد. Selby & Hoffman (2014) به بررسی کمبود آب و منازعات آبی کشور سودان پرداختند. در پژوهش آن‌ها، رابطه میان منازعات آبی و محیط‌زیست به همراه تصمیمات مختلف در لایه‌های گوناگون سیاسی در این کشور بررسی شده است. نتایج حاکی از آن بود که تلاش برای توسعه اقتصادی و تصمیمات مختلف سیاسی منجر به بروز خشونت در بخش آب شده است. همچنین توجه به عوامل طبیعی از قبیل تغییر اقلیم برای اتخاذ تصمیمات متناسب با آن‌ها توصیه شده است.

یکی از مسائل پر تنش در رودخانه‌های مرزی تخصیص آب بین کشورهای ساحلی آن‌هاست. در اغلب موارد درخواست آبی مدعیان از آب موجود در رودخانه بیشتر است. در این هنگام، اتخاذ روشی که بتواند آب موجود را به‌طور عادلانه بین مدعیان تقسیم کند با اهمیت بوده و می‌تواند تنش‌های احتمالی را کاهش دهد.

* نویسنده مسئول: m_shourian@sbu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

یکی از روش‌های کاربردی در حل مسائل مربوط به منابع آبی مشترک نظریه ورشکستگی است. در این راستا، Zarezadeh et al. (2012) با استفاده از روش‌های قانون ورشکستگی نسبی (PRO)[۲]، ورشکستگی نسبی تعدیل شده (AP)[۳]، مقید به سود یکسان (CEA)[۴]، مقید به ضرر یکسان (CEL)[۵] که چهار روش شناخته شده از تئوری ورشکستگی هستند، به تخصیص آب حوضه آبریز قزل اوزن- سفیدرود تحت سناریوهای مختلف بین استان‌های ذینفع پرداختند. یکی از راه‌های بررسی مقبولیت روش، استفاده از قانون ساده تعدد است. بر اساس این قانون، هر روشی که از طرف تعداد بیشتری از ذینفعان پذیرفته شده باشد به‌عنوان روش برتر برای تخصیص انتخاب می‌شود. در این مطالعه با استفاده از قانون تعدد روش CEA به‌عنوان روش برتر معرفی شد. Madani & Zarezadeh (2012) استفاده از قوانین ورشکستگی به‌منظور تخصیص عادلانه آب را مورد بررسی قرار دادند. در مقاله آن‌ها توصیفات ریاضیاتی از شش روش ورشکستگی که به‌طور متداول مورد استفاده قرار می‌گیرد ارائه شده است. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد در جایی که طرفین ترجیح می‌دهند سهم آب خودشان را مورد چانه‌زنی قرار دهند، این روش‌ها پتانسیل حل و فصل اختلافات برای اختصاص منابع آب را دارد. Chu et al. (2015) کاربرد مدل گرافیکی در تحلیل و حل منازعات آبی ناشی از توزیع و تخصیص آب به استان‌های حوضه آبریز Zhanghe واقع در کشور چین را بررسی کردند. طبق نتایج آن‌ها در صورت همکاری دو استان پایین‌دست حوضه و خرید آب با قیمتی توافقی از استان بالادست، شرایط برد- برد در حوضه حکم‌فرما شده و منازعات آبی خاتمه می‌یابد.

Mehrparvar & Ahmadi (2015) برای تخصیص منابع آب در حوضه زاینده‌رود، از سه روش ورشکستگی نسبی، نسبی تعدیل شده و مقید به سود یکسان استفاده کرده‌اند. در رودخانه زاینده-رود، با وجود اینکه ذینفعانی از جمله کشاورزی، شرب، صنعت و زیست‌محیطی از آب رودخانه بهره می‌برند، نتایج به دست آمده نشانگر تأثیر مثبت این رویکرد در رفع اختلاف بر سر برداشت آب از منابع می‌باشد. برای انتخاب روش مناسب تخصیص، واریانس مقادیر تأمین نشده ذینفعان در هر روش محاسبه شده و به عنوان سطح بی‌عدالتی در نظر گرفته شده است. بنابراین هرچه مقدار این واریانس کمتر باشد، سطح بی‌عدالتی روش موردنظر کمتر بوده و در نتیجه رضایت ذینفعان را تأمین می‌کند. در این پژوهش، روش نسبی تعدیل شده کمترین واریانس را به خود اختصاص داده که نشان‌دهنده پایداری این روش نسبت به دیگر گزینه-هاست. علاوه بر پایداری، توزیع عادلانه منابع با نسبت مساوی و نگرش یکسان به کلیه ذینفعان بدون در نظر گرفتن اولویتی در تخصیص منابع، از مزایای این روش می‌باشد. Mirshafee et al. (2015) کاربرد تئوری ورشکستگی در حل مناقشات مربوط به تقسیم منابع آبی مشترک را مورد بررسی قرار دادند. آنها عملکرد روش‌های CEA، CEL، Tal[۶]، Pin،CE[۷] و MO[۸] را مورد بررسی قرار دادند. با استفاده از قانون تعدد، روش‌های CEL، MO و Tal به‌عنوان بهترین روش برای تخصیص آب مورد نیاز کشاورزان پیشنهاد شده است. Jarkeh et al. (2015) روش جدیدی از ورشکستگی را به منظور بازتوزیع منابع آبی براساس دو معیار میزان مشارکت و نیاز آبی مدعیان ارائه کردند و آن را در بازتوزیع رودخانه فرات، مشترک بین سه کشور ترکیه، سوریه و عراق به کار بردند. آن‌ها همچنین مزیت این روش را نسبت به سایر روش‌های مرسوم ورشکستگی از جمله روش‌های PRO، CEA، CEL و SSR[۹] بر پایه PRO بررسی کردند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که روش‌های PRO، CEA و CEL بدون لحاظ میزان مشارکت هر نماینده، فقط میزان نیاز آن‌ها را در نظر می‌گیرد اما روش SSR بر پایه PRO میزان نیاز و مشارکت را هم‌زمان در نظر می‌گیرد. Mianabadi and Mianabadi (2016) کاربرد نظریه ورشکستگی در بازتوزیع منابع آبی مشترک را در حوضه دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار دادند. هدف تحقیق آن‌ها تعیین میزان سهم استان‌های ذینفع در تأمین حقابه دریاچه ارومیه و همچنین تعیین مقدار آب تخصیص یافته به هر استان می‌باشد. در این مطالعه از روش‌های PRO، CEA و CEL استفاده شده است. براساس قانون تعدد، روش CEA به‌عنوان روش مناسب از بین سه روش استفاده‌شده برای تخصیص آب پیشنهاد گردیده است. Oftadeh et al. (2016) برای حل اختلافات آب در حوضه رودخانه زاینده‌رود، یک روش ورشکستگی جدید را مورد ارزیابی قرار دادند. این روش جدید با قانون نسبی (PRO) و راه‌حل توقف کشاورزی آبی مقایسه شده است. طبق نتایج ارائه‌شده، هیچ یک از قوانین نمی‌تواند به‌طور کلی بر کمبود آب دریاچه غلبه کنند اما می‌توانند عاملی مکمل در راستای راه‌حل‌های دیگر باشند. توقف اختصاص کشاورزی می‌تواند بیشتر از قوانین ورشکستگی به کاهش خطر دریاچه ارومیه کمک کند.

در تحقیق حاضر، برای بهینه‌سازی تخصیص منابع آب در حوضه مرزی ارس و حل منازعات موجود بین ذینفعان این حوضه از تلفیق الگوریتم بهینه‌ساز PSO با سه زیرمجموعه از روش‌های حل اختلاف ورشکستگی که عبارت‌اند از روش نسبی، روش مقید به سود یکسان و روش مقید به ضرر یکسان استفاده شده و درنهایت نتایج استفاده از این روش‌ها با یکدیگر مقایسه شده است.

تئوری ورشکستگی

www.SID.ir

Archive of SID

نظریه ورشکستگی زمانی مطرح می‌شود که دارایی مشترک و قابل تقسیم E بخواهد بین i مدعی با میزان ادعای C_i تقسیم شود به‌طوری که میزان E کمتر از مجموع ادعای مدعیان (C) باشد (Herrero & Villar, 2001). تئوری ورشکستگی یکی از روش‌های کاربردی در مدیریت و حل اختلاف در مسئله بازتوزیع منابع آبی مشترک می‌باشد. این تئوری چندین زیرمجموعه دارد که در این تحقیق از سه زیرمجموعه که براساس مطالعات انجام‌شده، کاربرد مناسبی در مدیریت منابع آب دارند استفاده شده است که عملکرد این روش‌ها به صورت زیر است ((Oftadeh et al., (2016):

۱- روش نسبی (PRO)

این روش تلاش دارد تا نسبتی مساوی از ادعای هریک از ذینفعان را تأمین کند. مقدار این ضریب یکسان بین صفر و یک بوده و به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$\alpha = \frac{E}{C} \qquad \text{(رابطه ۱)}$$
$$C = \sum_{i=1}^{n} c_i$$
$$= \alpha c_i x_i^{Pr}$$

x_i در رابطه فوق، مقدار تخصیص به ذینفع i در روش Pr می‌باشد.

۲- روش مقید به سود یکسان (CEA)

دیدگاه در روش CEA کم کردن تعداد ذینفعان از طریق تأمین نیازهای تعدادی از آن‌هاست که آب کمتری را می‌خواهند. ملاک تخصیص اولیه بدین طریق است که ابتدا مقدار مساوی برابر حداقل نیاز برای تمام مدعیان (λ) در نظر گرفته می‌شود و مدعی با حداقل نیاز، از مسئله خارج می‌شود. این روند تا مرحله‌ای ادامه می‌یابد که مقدار باقیمانده از منابع جوابگوی حداقل میزان باقیمانده از ادعای ذینفعان نباشد. درنهایت، مقدار باقیمانده موجود از منابع به نسبت مساوی بین مدعیان تقسیم می‌شود. λ در رابطه زیر نشان‌دهنده مقدار سود یکسان و x_i مقدار تخصیص به ذینفع i در این روش است:

$$x_i = Min(\lambda, c_i) \qquad \text{(رابطه ۲)}$$
$$\sum_{i \in N} Min(\lambda, c_i) = E$$

۳- روش مقید به ضرر یکسان (CEL)

در روش CEL سعی بر آن است که میزان کسری موجود بین همه مدعیان به‌صورت یکسان تقسیم گردد. در این روش، تفاضل مجموع درخواست‌ها با موجودی منبع محاسبه می‌شود و بر تعداد مدعیان تقسیم می‌شود. مقدار حساب‌شده که در واقع ضرر یکسان محسوب می‌شود، از کلیه درخواست‌های مدعیان کسر می‌گردد. قانون CEL اولویت تخصیص را به متقاضی با ادعای بیشتر می‌دهد. x_i در این رابطه، مقدار تخصیص به ذینفع i در این روش می‌باشد.

$$x_i = Max(0, c_i - \lambda) \qquad \text{(رابطه ۳)}$$
$$\sum_{i \in N} Max(0, c_i - \lambda) = E$$

الگوریتم ازدحام ذرات (Particle Swarm Optimization)

به منظور بهینه‌یابی مقادیر ضرایب و پارامترهای روش‌های ورشکستگی از الگوریتم دسته ذرات استفاده شده است. الگوریتم PSO[۱۰] یک روش تکاملی جستجوی تصادفی در فضای چندبعدی متغیرهای تصمیم است که رفتار اجتماعی دسته‌های موجودات زنده را شبیه‌سازی می‌نماید (Kennedy and Eberhart, 1995). ایده اصلی در این الگوریتم آن است که در هر دسته از موجودات فوق، هر عضو می‌تواند از مشاهدات و تجربیات تمام اعضا در حین جستجو برای رسیدن به هدف سود جوید. اگر فضای جستجو یک فضای D بعدی باشد، ذره i از جمعیت با بردار D بعدی $X_i=(x_{i1},x_{i2},...,x_{iD})$، سرعت (تغییر مکان) این ذره با بردار D بعدی $V_i=(v_{i1},v_{i2},...,v_{iD})$، بهترین مکان دیده شده تا به حال توسط ذره i به صورت $P_i=(p_{i1},p_{i2},...,p_{iD})$ و بهترین ذره در کل جمعیت با اندیس g نشان داده می‌شود. جمعیت ذرات مطابق با دو معادله زیر به حرکت واداشته می‌شوند:

$$V_id\^(n+1) = \chi(\omega v_id\^n + c_1\, r_1\^n\, (p_id\^n - x_id\^n) + c_2\, r_2\^n\, (p_pg\^n - x_id\^n)) \qquad \text{(رابطه ۴)}$$

$$x_{id}^{n+1} = x_{id}^{n} + v_{id}^{n+1} \qquad \text{(رابطه ۵)}$$

در این روابط $i = 1,2,...N$ ؛ $d = 1,2,...,D$ و N برابر با اندازه جمعیت، n شماره تکرار، ω وزن اینرسی، c_1 و c_2 دو ثابت مثبت به نام‌های ضرایب شناخت و اجتماعی، χ فاکتور انقباض، که می‌تواند مانند ω برای محدود کردن سرعت بکار رود و r_1 و r_2 اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت بین [0,1] می‌باشند. در هر تکرار از الگوریتم PSO، با استفاده از مقادیر به دست آمده برای متغیرهای تصمیم مسئله محاسبات مدل شبیه‌سازی صورت گرفته و با تعیین مقادیر بهینه متغیرها با توجه به مقدار تابع هدف به دست آمده، مقادیر جدید متغیرها با استفاده از معادلات (۴) و (۵) نتیجه می‌شوند. این روند تا رسیدن به یک تعداد تکرار بیشینه که در این مسئله برابر ۲۰۰ در نظر گرفته شده و یا تکرار شدن جواب بهینه عمومی در ۵۰ تکرار متوالی ادامه می‌یابد. در مطالعه حاضر، تعداد ذرات برابر با ۲۰ و پس از سعی و خطا مقادیر $\chi = 1.0$ ، $\omega_{max} = 0.9$ ، $\omega_{min} = 0.4$ و $c_1 = 2.25$ و $c_2 = 1.75$ برای پارامترهای الگوریتم PSO در نظر گرفته شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده از تکنیک آشفتگی در الگوریتم PSO

یکی از مشکلات متعارف در استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی تکاملی، گرفتار شدن الگوریتم در نقاط بهینه محلی و یا به وجود آمدن شرایط همگرایی زودرس می‌باشد. از دلایل اصلی همگرایی زودرس در الگوریتم PSO، توقف فرایند اکتشاف در قسمت‌های جدید از فضای جستجو توسط ذرات می‌باشد. در این مطالعه، به منظور جلوگیری از به وجود آمدن این شرایط و وادار نمودن ذرات PSO به اکتشاف در مناطق مختلف از فضای جستجو از مفهوم آشفتگی در الگوریتم استاندارد PSO استفاده شده است. اگر بردار سرعت یک ذره کمتر از یک مقدار آستانه حدی (v_c) شود، در این صورت مقدار جدیدی برای سرعت ذره محاسبه می‌شود. بنابراین در الگوریتم TPSO[11] سرعت هر ذره با استفاده از رابطه زیر به هنگام می‌گردد (Shourian et al., 2008):

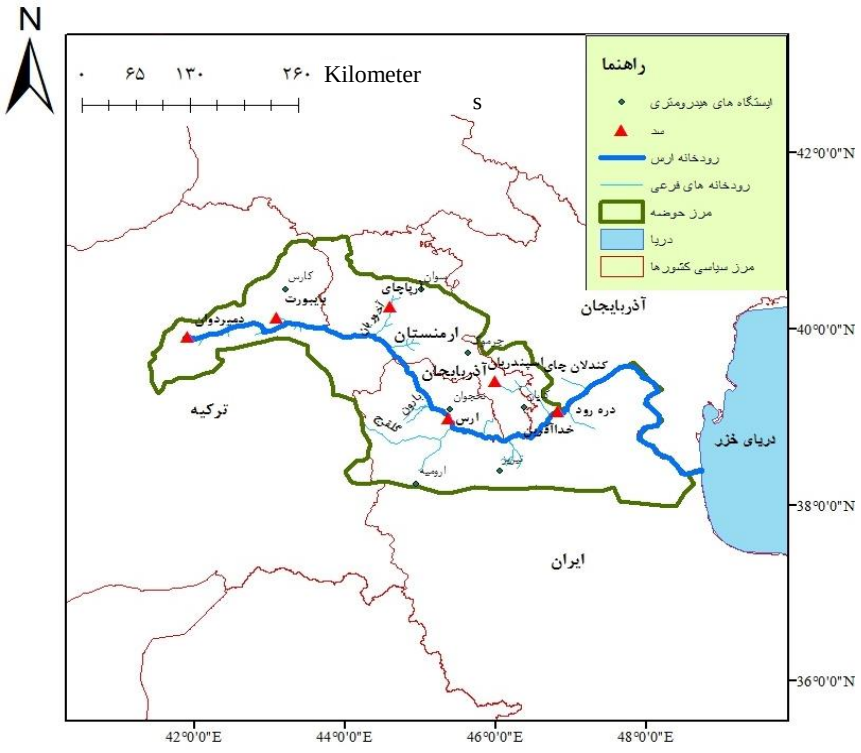
(رابطه۶)

$$\mathcal{V}_{id}^{n+1}=\begin{cases}\mathcal{V}_{id}^{n+1} & if|\mathcal{V}_{id}^{n+1}|\geq \mathcal{V}_c\\ u(-1,1)\mathcal{V}_{max}\ /\rho & if|\mathcal{V}_{id}^{n+1}|\leq \mathcal{V}_c\end{cases}$$

در این رابطه $u(-1,1)$ یک عدد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه [-1,1] و ρ فاکتور مقیاس برای کنترل دامنه نوسانات ذرات با توجه به مقدار v_{max} می‌باشد. v_c نیز همان‌گونه که ذکر شد، آستانه حدی سرعت بوده که یک پارامتر قابل تغییر و تطبیق برای محدودسازی کمترین مقدار سرعت ذرات می‌باشد. به منظور فراهم ساختن یک فرآیند اکتشاف- استخراج[12] مؤثر، در مراحل نخستین جستجوی PSO مقادیر پارامترهای v_c و ρ به ترتیب برابر با مقادیر بزرگ و کوچک انتخاب شده و با پیشروی الگوریتم مقدار v_c کاهش یافته و مقدار ρ افزایش می‌یابد.

منطقه مطالعاتی

رودخانه ارس از منطقه آرپاچای در آناتولی ترکیه سرچشمه می‌گیرد. سپس از مرز ترکیه، نخجوان جلفا و ارمنستان گذشته و پس از گذر از مرز ایران، وارد جمهوری آذربایجان شده و به رودخانه کورا می‌ریزد و بعد از عبور از مرز ایران به دریای خزر می‌ریزد. طول این رودخانه، ۱۰۷۲ کیلومتر است که ۴۵۰ کیلومتر آن به نوار مرزی بین‌المللی اختصاص دارد. جریان سالانه عبوری از رودخانه ارس بر اساس داده‌های تاریخی در حدود هفت میلیارد مترمکعب است که حدود ۵۶٪ آب این رودخانه از خاک ترکیه، ۲۴٪ از جمهوری آذربایجان، ۱۰٪ از خاک ایران، و ۱۰٪ از ارمنستان تأمین می‌شود. در این حوضه، منابع آب زیرزمینی که کیفیت مطلوبی داشته باشد محدود است و باعث می‌شود که مصارف آبی وابستگی زیادی به جریان رودخانه ارس داشته باشند (Kibaroglu et al., 2011). حوضه آبریز رودخانه ارس منطقه‌ای به وسعت ۹۶۹۲۰ کیلومتر مربع را در بر گرفته که توزیع آن در بین کشورهای حوضه به همراه میزان جریان متوسط سالانه تولیدی در هر کشور در جدول (۱) گزارش شده است.



شکل ۱- موقعیت و مرز سیاسی کشورهای ذینفع در حوضه آبریز ارس

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- گستردگی حوضه آبریز ارس در کشورهای ذینفع در حوضه و متوسط جریان سالانه تولیدی در هر کشور

مشخصه	کشور			
	ایران	ترکیه	ارمنستان	آذربایجان
مساحت حوضه در هر کشور (km^2)	۳۸۱۲۹	۲۳۷۶۳	۲۲۴۹۳	۱۲۵۳۵
درصد مساحت نسبت به مساحت حوضه	۳۹	۲۵	۲۳	۱۳
درصد مساحت نسبت به مساحت کشور	۲	۳	۷۶	۱۵
جریان سالانه تولیدی (MCM)	۶۸۸	۴۰۲۸	۷۰۹	۱۷۰۴

در هر یک از کشورهای حوضه رودخانه ارس سدهای بزرگی بر روی آن احداث شده است که مشخصات مهم‌ترین آن‌ها در جدول (۲) مشاهده می‌شود. به دلیل کمبود منابع آب زیرزمینی در حوضه، مصارف کشورهای حوضه وابستگی زیادی به جریان رودخانه ارس داشته و طرح‌های توسعه تأسیسات آبی جزو برنامه-های هریک از کشورها در مهر و مومهای آتی می‌باشد.

جدول ۲- مشخصات سدهای مهم در حوضه آبریز ارس

نام سد	کشور	حجم مخزن (MCM)
ارس	ایران	۱۳۵۰
خدا آفرین	ایران- آذربایجان	۱۶۱۲
آخوریان	ترکیه- ارمنستان	۵۲۵
دمیردوان	ترکیه	۳۴/۵
بایبورت	ترکیه	۶۱
اسپندریان	ارمنستان	۲۵۷

معرفی سناریوهای برنامه‌ریزی منابع آب

سناریوی ۱: در این سناریو وضعیت فعلی تأمین نیازهای آبی ایران مورد بررسی قرار می‌گیرد. در واقع در این سناریو تنها اثرات برداشت کشورهای بالادست حوضه بر وضعیت منابع ایران و تأمین نیازهای داخلی در شرایط فعلی لحاظ شده و وضعیت تأمین نیازهای کشورهای بالادست بررسی نمی‌شود.

سناریوی ۲۰۲۰: در این سناریو هر ۴ کشور ذینفع در حوضه در مدل شبیه‌سازی لحاظ شده و وضعیت توسعه کشورهای بالادست تا سال ۲۰۲۰ مورد بررسی قرار می‌گیرد. در واقع در این سناریو نیازهای داخلی ایران مانند سناریوی ۱ بوده و نیازهای ترکیه و ارمنستان و آذربایجان بر اساس مطالعات انجام شده در حوضه و تخمین شرایط آینده مربوط به سال ۲۰۲۰ در نظر گرفته شده است.

سناریوی سال ۲۰۵۰: این سناریو از نظر منابع حوضه مانند سناریو ۲۰۲۰ می‌باشد و تفاوت آن در نیازهای توسعه کشورهای ترکیه و ارمنستان و آذربایجان است که تخمینی از شرایط سال ۲۰۵۰ است. مقدار جریان ورودی به حوضه، در هر سه سناریو ثابت و برابر مقدار ارائه شده در جدول (۳) در نظر گرفته شده است. مقادیر نیازهای مربوط به کشور ایران در سناریوی اول برابر با مقادیر وضعیت موجود در نظر گرفته شده و در سناریوهای ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ تغییری در آن‌ها لحاظ نشده و ثابت در نظر گرفته شده است. دلیل این موضوع واقع شدن ایران در پایین دست و عدم توجیه افزایش نیازها نسبت به شرایط توسعه لحاظ شده در سناریوی ۱ می‌باشد. نیازهای ایران در سناریوی ۱ که نشان دهنده وضعیت فعلی حوضه ارس است با توجه به اطلاعات موجود در شرایط سال ۱۳۹۲ مستخرج از مطالعات طرح جامع آب کشور لحاظ شده است (Iran's National Water Master Plan, 2013). به دلیل اینکه ایران در پایین دست حوضه واقع شده امکان توسعه بیشتر برای آن در نظر گرفته نشده است (در مراجع نیز برنامه‌ای برای توسعه نیازهای ایران ذکر نشده است) چرا که در حال حاضر و پس از آن با توسعه بالادست مشکلات تأمین آب جدی در حوضه وجود داشته و قطعاً توسعه بیشتر در ایران منتج به کمبود آب بیشتر خواهد شد. لذا به‌نوعی هدف این مطالعه بررسی تأثیر توسعه بالادست بر وضعیت تأمین نیازهای ایران در سطح فعلی بوده و نیازهای ایران در سناریوهای آتی افزایش داده نشده است.

مدل شبیه‌سازی تخصیص منابع آب حوضه آبریز ارس

مدل MODSIM یک سیستم پشتیبان در تصمیم‌گیری برای برنامه‌ریزی تخصیص منابع آب و بهره‌برداری چند منظوره از مخازن، مدیریت تلفیقی منابع آب سطحی و زیرزمینی و با قابلیت در نظرگیری مکانیزم‌های حاکم بر مناسبات اداری و قانونی استفاده از منابع آب می‌باشد. این مدل از روش برنامه‌ریزی شبکه جریان یا NFP[۱۳] برای محاسبه مقادیر تخصیص آب بین گره‌های نیاز و ذخیره در هر گام زمانی استفاده می‌کند. در این مدل مسئله حداقل کردن هزینه شبکه جریان و به عبارتی تخصیص بهینه آب بین مصارف متعدد به صورت تکراری در هر گام زمانی حل می‌شود. فرمول‌بندی عمومی الگوریتم NFP که در هر گام زمانی در MODSIM استفاده می‌شود به شکل زیر است (Labadie, 2005):

www.SID.ir

Archive of SID

(رابطه ۷)
$$Mimimize \sum_{I \in A} c_1 q_1$$
$$Subject\ to:$$

(رابطه ۸)
$$\sum_{I \epsilon O_i} q_1 - \sum_{k \epsilon I_i} q_k = b_{it}(q) \quad ; \quad for\ all\ nodes\ i \in N$$

(رابطه ۹)
$$l_l \le q_l \le u_l \ ; \quad \text{for all } l \in A$$

در این روابط A مجموعه مجاری جریان در شبکه، N مجموعه گره‌ها، O_i مجموعه کانال‌های آغاز شونده از گره i (کانال‌های خروجی)، I_i مجموعه کانال‌های پایان یابنده در گره i (کانال‌های ورودی)، q_l مقدار دبی جریان در کانال l، c_l ضریب هزینه جریان در کانال l (منفی ضرایب وزنی و یا سود واحد دبی در کانال l که بر اساس اولویت‌های تخصیص بین نیازها محاسبه می‌شود)، l_l کران پایین جریان در کانال l و u_l کران بالای جریان در کانال l می‌باشد. در نبود مطالعات اقتصادی و به منظور تخصیص بهینه آب بین مصارف، ضرایب هزینه در تابع هدف NFP با استفاده از مقادیر اولویت‌های نسبی تأمین نیازها که توسط کاربر تعیین شده محاسبه می‌شود.

شبیه‌سازی حوضه آبریز ارس در MODSIM انجام شده است. توسعه‌ها براساس نیازهای پیش‌بینی شده آینده کشورهای حوضه و تأسیسات در حال مطالعه‌ای که در مهر و مومهای آینده به بهره‌برداری خواهند رسید، می‌باشد و به ترتیب مربوط به مهر و مومهای ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ می‌باشد. همچنین این نرم‌افزار دارای قابلیت کدنویسی در هر یک از زبان‌های تحت چارچوب Microsoft.NET می‌باشد. این کد قابلیت تلفیق با مدل MODSIM را در هر مقطع مورد نظر از اجرای برنامه، شامل ورود داده‌ها، اجرای الگوریتم در ابتدای هر گام زمانی، پردازش در حین تکرارهای میانی و خروجی‌های مدل دارا می‌باشد. با استفاده از قابلیت کدنویسی نرم‌افزار MODSIM و کدنویسی الگوریتم PSO در آن مقادیر بهینه پارامترهای ورشکستگی به دست آمده و خروجی روش‌های ورشکستگی در محیط Excel محاسبه و مورد تحلیل قرار گرفته است.

برای بررسی وضعیت منابع و مصارف حوضه، ابتدا مقادیر نیازهای آبی هر یک از کشورها به تفکیک نوع مصرف در سناریوهای مورد مطالعه جمع‌آوری شده است. سپس شبیه‌سازی حوضه بر اساس مقدار ارائه شده برای جریان ورودی به حوضه و مقادیر این نیازها در نرم‌افزار MODSIM انجام شده و مقادیر تأمین هر یک از نیازها از خروجی‌های این مدل شبیه‌سازی استخراج شده است. با توجه به مقادیر نیازهای آبی و میزان تأمین آن‌ها اطمینان‌پذیری تأمین هر یک از نیازها در هر کشور محاسبه شده است. نتایج این محاسبات در جدول (۳) مشاهده می‌شود. در شکل‌های (۲) و (۳) نیز شماتیک منابع و مصارف حوضه آبریز ارس در سناریوهای ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ با استفاده از نتایج به دست آمده از مدل MODSIM نشان داده شده است.

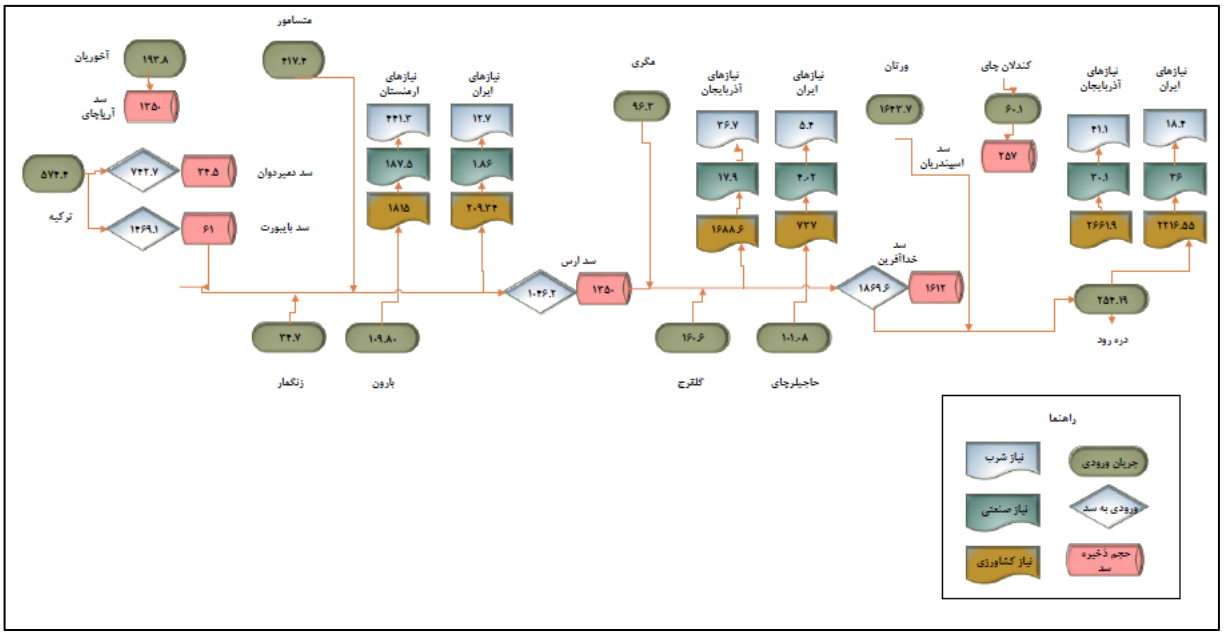
جدول ۳- وضعیت تأمین نیازهای آبی در سناریوهای مختلف برنامه‌ریزی منابع آب در حوضه ارس

مصارف	کشور	نیاز (MCM)			تأمین (MCM)		اطمینان‌پذیری (٪)		
		سناریو ۱	سناریو۲۰۲۰	سناریو۲۰۵۰	سناریو ۱	سناریو ۲۰۲۰	سناریو ۱	سناریو ۲۰۲۰	سناریو ۲۰۵۰
کشاورزی	ترکیه	-	۵۷۹	۲۰۲۵	-	۴۹۵	-	۸۵	۴۴
	ارمنستان	-	۱۸۵۳	۲۱۹۵	-	۳۰۱	-	۱۶	۱۴
	آذربایجان	-	۵۱۸۱	۵۳۳۶	-	۱۵۲۳	-	۲۹	۲۵
	ایران	۳۱۶۳	۳۱۶۳	۳۱۶۳	۲۹۱۹	۶۳۴	۹۲	۲۰	۱۶
شرب	ارمنستان	-	۴۵۴	۴۵۴	-	۲۴۴	-	۵۴	۵۴
	آذربایجان	-	۷۸	۱۱۳	-	۴۹	-	۶۳	۵۳
	ایران	۳۷	۳۷	۳۷	۳۲	۱۶	۸۹	۴۵	۴۰
صنعت	ارمنستان	-	۱۹۷	۱۹۷	-	۴۸	-	۲۵	۲۵
	آذربایجان	-	۴۸	۸۰	-	۲۶	-	۵۴	۴۴
	ایران	۴۲	۴۲	۴۲	۳۳	۶	۷۹	۱۳	۱۲
کل حوضه		**۳۲۴۲**	**۱۱۶۳۲**	**۱۳۶۴۲**	**۲۹۸۴**	**۳۳۴۲**	**۸۷**	**۲۶***	**۲۳***

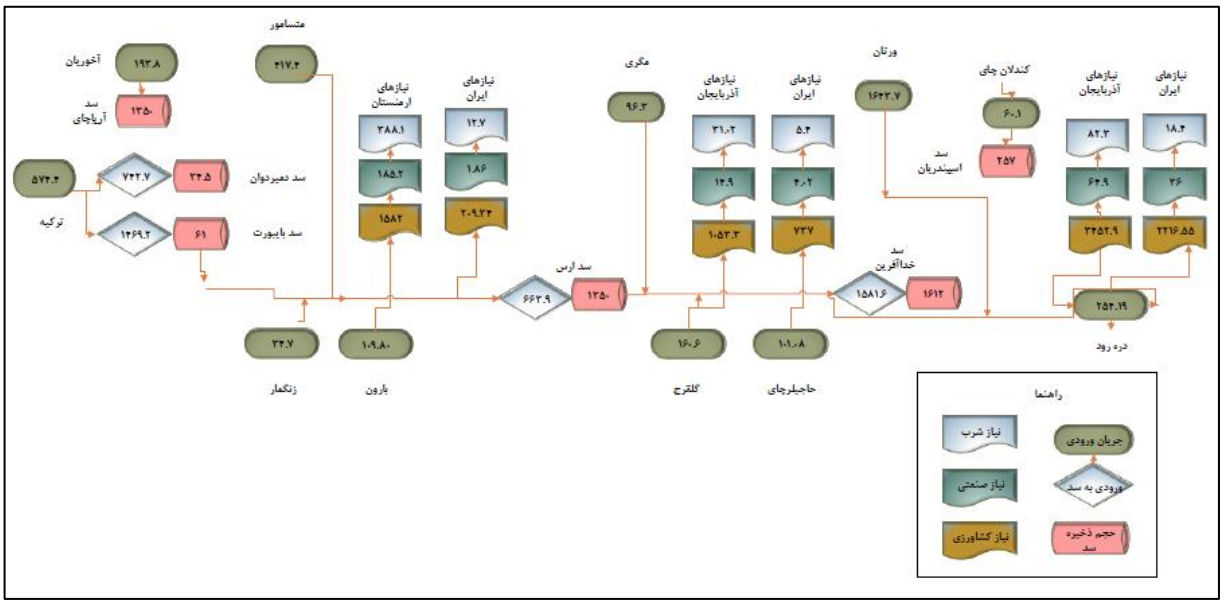
* اعتمادپذیری برای ایران محاسبه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- وضعیت تأمین آبی در حوضه آبریز ارس در سناریوی ۲۰۲۰



شکل ۳- وضعیت تأمین آبی در حوضه آبریز ارس در سناریوی ۲۰۵۰

بر اساس نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود با توسعه طرح‌های کشورهای بالادست و افزایش مصارف آبی حوضه در مهر و موم‌های آینده وضعیت تأمین نیازها در همه کشورها با کمبود جدی مواجه خواهد شد. این مسئله به ویژه در کشور ایران که در پایین‌دست حوضه قرار گرفته است نمود بیشتری داشته و شاهد کاهش ۴۵٪ اطمینان‌پذیری تأمین نیاز شرب و ۶۷٪ نیاز صنعتی و ۷۶٪ نیاز کشاورزی در سناریوی سال ۲۰۵۰ نسبت به سناریوی ۱ می‌باشد. بنابراین ارائه راهکاری مناسب و کاربردی برای مدیریت و تخصیص بهینه منابع آب در این حوضه مرزی برای مقابله با شرایط بحران کم‌آبی در آینده بسیار مهم و قابل توجه می‌باشد.

حل منازعات آبی حوضه ارس به روش ورشکستگی

نتایج شبیه‌سازی منابع و مصارف آبی حوضه ارس نشان می‌دهد میزان آب در دسترس در این حوضه از میزان کل نیاز ذینفعان کمتر است و این امر می‌تواند موجب ایجاد کم‌آبی در کشورهای ذینفع در حوضه گردد. مسئله به وجود آمده در این حوضه نمونه‌ای از مسائل ورشکستگی است. ارائه روشی مناسب برای تخصیص منابع آبی مشترک، اقدامی مؤثر در زمینه مدیریت در چنین شرایطی است. در این تحقیق برای حل مسئله ورشکستگی به وجود آمده در منابع آبی از سه روش نسبی، مقید به سود یکسان و مقید به ضرر یکسان که پرکاربردترین زیرمجموعه‌های تئوری

www.SID.ir

Archive of SID

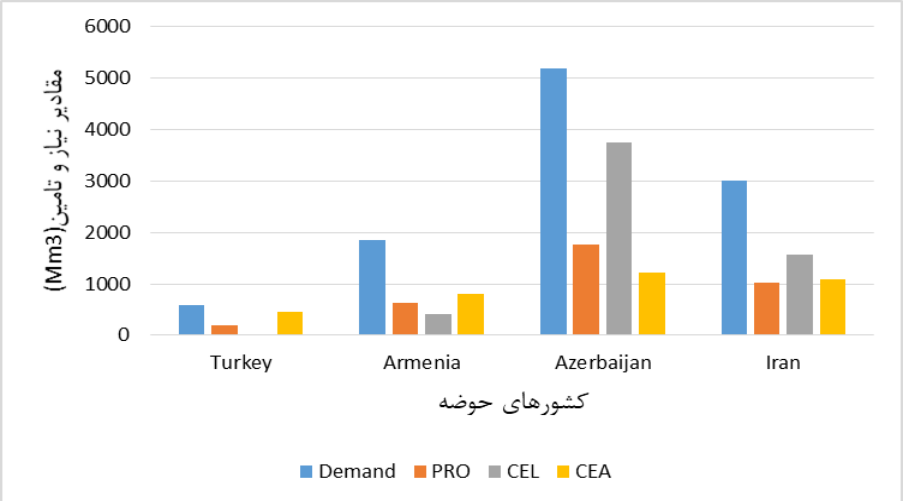
ورشکستگی می‌باشند، استفاده شده است. برای بهینه‌سازی منابع در حوضه آبریز ارس از الگوریتم PSO استفاده شده است. تابع هدف در این مسئله بر اساس روش‌های حل منازعه‌ای که با بهینه-سازی تلفیق شده‌اند مشخص می‌شود. به این صورت که تابع هدف در روش نسبی بیشینه کردن ضریب α، در روش مقید به سود یکسان بیشینه کردن مقدار سود و در روش مقید به ضرر یکسان کمینه‌کردن میزان ضرر ناشی از کمبود آب می‌باشد. اما قید در نظر گرفته شده در هر سه حالت تأمین اطمینان‌پذیری ۹۵ درصد برای نیاز شرب و ۸۵ و ۷۰ درصد به ترتیب برای نیازهای صنعتی و کشاورزی در سطح حوضه آبریز می‌باشد. متغیر تصمیم، نیازهای کشاورزی هر کشور می‌باشد و هدف بهینه‌سازی این است که با کاهش برداشت‌ها در بخش کشاورزی، میزان آب موجود به صورت بهینه در بین سایر نیازهای چهار کشور بهره‌بردار به گونه‌ای توزیع گردد که در عین تأمین نیازهای اساسی (که با تعیین اولویت برای نیازها انجام شده است) مانع از بروز درگیری‌های سیاسی نیز شود.

نتایج تخصیص آب به روش‌های ورشکستگی بین کشورهای ذینفع در حوضه آبریز ارس در جدول (۴) و به‌صورت مقایسه‌ای در شکل (۴) برای سناریوی ۲۰۲۰ و شکل (۵) برای سناریوی ۲۰۵۰ ارائه شده است. همان‌گونه که قبلاً نیز بیان شد میزان نیازهای ایران در سناریوی ۱ در شرایط فعلی در نظر گرفته شده و در سناریوهای بعدی افزایش داده نشده است که دلیل آن واقع شدن ایران در پایین دست حوضه و عدم توجیه افزایش نیازها می‌باشد.

بررسی نتایج فوق نشان می‌دهد روش مقید به ضرر یکسان (CEL) میزان تأمین بیشتری را نسبت به سایر روش‌ها نتیجه داده و با توجه به قیدهای مسئله، در این حوضه به‌عنوان روش تخصیص منتخب پیشنهاد می‌شود. اما در این روش، متقاضی با کمترین نیاز که کشور ترکیه است در اولویت آخر تخصیص قرار می‌گیرد و به ترتیب صفر و حدود ۱۰٪ نیاز این کشور در سال ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ تأمین می‌شود. در حالی که این کشور در بالادست حوضه قرار گرفته است و به راحتی می‌تواند میزان نیاز خود را از رودخانه برداشت نماید. بنابراین اجرای این روش نیازمند همکاری کشور ترکیه می‌باشد. درواقع عملی بودن این روش ملزم به وارد کردن قیود سیاسی- اجتماعی در توابع تصمیم‌گیری است. پس از این روش، می‌توان روش نسبی را که درصدهای تأمین یکسانی را به هر متقاضی نسبت داده و عدالت در تخصیص را بیشتر مدنظر قرار داده، به‌عنوان روش مناسب معرفی کرد.

جدول ۴- نتایج تخصیص آب به کشورهای ذینفع در حوضه آبریز ارس با استفاده از روش‌های ورشکستگی

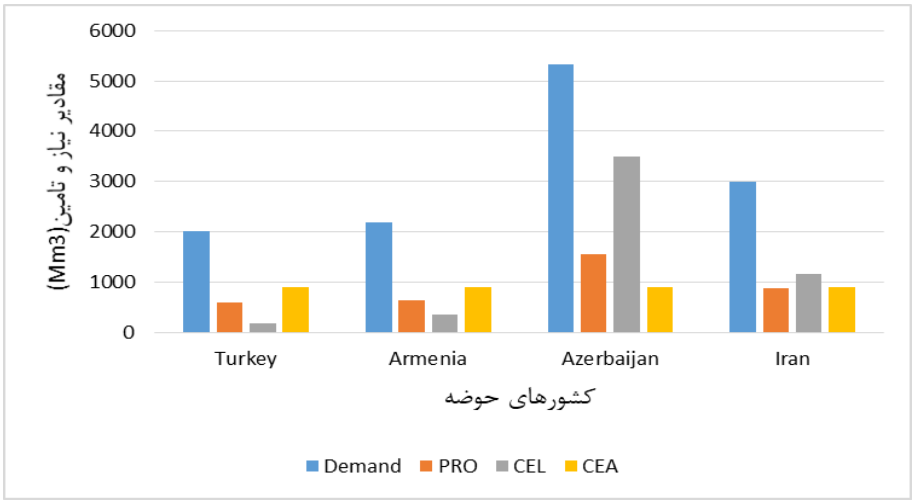
کشور	نیاز ۲۰۲۰ (MCM)	تأمین ۲۰۲۰ (MCM)			نیاز ۲۰۵۰ (MCM)	تأمین ۲۰۵۰ (MCM)		
		PRO	CEL	CEA		PRO	CEL	CEA
ترکیه	۵۷۹	۱۹۷	۰	۴۶۳	۲۰۲۵	۵۸۷	۱۸۳	۹۰۱
ارمنستان	۱۸۵۳	۶۳۰	۴۱۲	۸۰۲	۲۱۹۵	۶۳۷	۳۵۴	۹۰۲
آذربایجان	۵۱۸۱	۱۷۶۱	۳۷۳۹	۱۲۱۵	۵۳۳۶	۱۵۴۷	۳۴۹۵	۹۰۱
ایران	۳۰۰۲	۱۰۲۱	۱۵۶۰	۱۰۹۰	۳۰۰۲	۸۷۰	۱۱۶۰	۹۰۲
کل حوضه	**۱۰۶۱۵**	**۳۶۰۹**	**۵۷۱۱**	**۳۵۷۰**	**۱۲۵۵۸**	**۳۶۴۱**	**۵۱۹۲**	**۳۶۰۶**



شکل ۴- مقادیر نیاز و تأمین آبی کشورهای ذینفع در حوضه ارس در سناریوی ۲۰۲۰ با استفاده از روش‌های ورشکستگی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵- مقادیر نیاز و تأمین آبی کشورهای ذینفع در حوضه ارس در سناریوی ۲۰۵۰ با استفاده از روش‌های ورشکستگی

جمع‌بندی

بررسی وضعیت منابع و مصارف آبی حوضه ارس نشان می‌دهد علی‌رغم پرآب بودن رودخانه ارس، در صورت توسعه کشورهای بالادست که منجر به افزایش برداشت‌های آبی می‌شود، این حوضه توانایی تأمین نیازهای آبی تمامی کشورهای بهره‌بردار از آن را نخواهد داشت. بنابراین بهینه‌سازی تخصیص منابع آب در این حوضه امری ضروری است. همچنین به دلیل مرزی بودن حوضه بروز منازعات و مشکلات سیاسی بر اثر کمبود آب بین کشورهای ذینفع اجتناب‌ناپذیر است. با توجه به این مسئله، در این پژوهش از روش‌های حل منازعه ورشکستگی در تلفیق با بهینه‌سازی استفاده شده است. نتایج نشان‌دهنده کاربرد مناسب استفاده از روش‌های ورشکستگی در حل منازعات آبی است. دو دلیل اصلی برای کاربرد قانون ورشکستگی برای حل و فصل مسائل تخصیص منابع آب رودخانه‌ها وجود دارد. اول اینکه همچون مسائل ورشکستگی واقعی، ادعاها و درخواست‌ها بیشتر از منابع موجود است و دوم اینکه روش‌های ورشکستگی نسبتاً ساده بوده و نهادها و سیاست‌گذاران می‌توانند در مسائل اشتراک رودخانه‌ها از آن‌ها استفاده کنند. در این مسئله تنها قیدهای کمی درصد تأمین نیازها در تابع هدف بهینه‌سازی وارد شده است. اما برای بررسی بهتر مسئله و دستیابی به نتایج دقیق‌تر لازم است قیود بیشتری در تصمیم‌گیری وارد شوند. به‌عنوان مثال وضعیت توأم کمی و کیفی منابع آب در کشورها در نظر گرفته شده و یا راهکارهای عملی همکاری بین آن‌ها بررسی شود.

پی‌نوشت‌ها

Bankruptcy Methods
Proportional
Adjusted Proportional
Constrained Equal Award
Constrained Equal Loss
Talmud
Constrained Egalitarian rule
Minimal Overlap rule
Sequential Sharing Rules
Particle Swarm Optimization
Turbulent Particle Swarm Optimization
Exploration-Exploitation
Network Flow Programming

REFERENCES

Chu, Y. Hipel, K. W. Fang, L and Wang, H. (2015) "Systems methodology for resolving water conflicts: the Zhanghe River water allocation dispute in China," *International journal of water resources development*, vol. 31, no. 1, pp. 106-119.

Eberhart, R. and Kennedy, J. (1995) "A new optimizer using particle swarm theory," in Micro Machine and Human Science, 1995. MHS'95., Proceedings of the Sixth International Symposium on, 1995, pp. 39-43: IEEE.

Herrero, C. and Villar, A. (2001) "The three musketeers: four classical solutions to bankruptcy problems," Mathematical Social Sciences, vol. 42, no. 3, pp. 307-328.

Iran's National Water Master Plan (2013), Aras River Basin Reports, Ministry of Energy, Tehran, Iran.

Jarkeh, M. Mianabadi, A. Mianabadi, H. (2015) "Fair allocation of water in the Euphrates River basin," International Conference on Environmental Science, Engineering & Technologies(CESET 2015),.

Kennedy, R. and Eberhart, J.(1995) " Particle swarm optimization,"in Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks IV, pages, 1995, vol. 1000.

Kibaroglu, A. Scheumann, W. and Kramer, A. (2011) Turkey's water policy: national frameworks and

www.SID.ir

Archive of SID

international cooperation. Springer Science & Business Media,.

Kloos, J. Gebert, N. Rosenfeld, T. and Renaud, F.G. (2013) "Climate change, water conflicts and human security: Regional assessment and policy guidelines for the Mediterranean, Middle East and Sahel,".

Labadie, J. (2005) "MODSIM: River basin management decision support system," *Watershed Models. CRC Press, Boca Raton, Florida,*.

Madani, K. and Zarezadeh, M. (2012) "Bankruptcy methods for resolving water resources conflicts," in World Environmental and Water Resources Congress 2012: Crossing Boundaries, 2012, pp. 2247-2252.

Mehrparvar, M. Ahmadi, A. (2015) "River Water Allocation with Bankruptcy Methods Case Study:(Zaiandehrood River), " The 8th National Congress on civil engineering, Babol Industrial University, (In Farsi).

Mianabadi, H. Mianabadi, A. (2016) "Application of Bankruptcy Method of Joint Water Resources Redistribution", The 5th Conference of Iran water resources management, (In Farsi).

Mirshafee, S. AnsariI, H. and Mianabadi, H. (2015) " Bankruptcy methods in Transboundary Rivers Allocation Problems Case Study:(Atrak River)",.

Oftadeh, E. Shourian, M. and Saghafian, B. (2016) "Evaluation of the Bankruptcy Approach for Water Resources Allocation Conflict Resolution at Basin Scale, Iran's Lake Urmia Experience," Water resources management, vol. 30, no. 10, pp. 3519-3533,.

Selby, J. and Hoffmann, C. (2014) "Beyond scarcity: rethinking water, climate change and conflict in the Sudans," Global Environmental Change, vol. 29, pp. 360-370,.

Shourian M, Mousavi SJ, Tahershamsi A (2008) Basin-wide water resources planning by integrating PSO algorithm and MODSIM. Water Resour Manag 22(10):1347-1366

Zarezadeh, M. Madani, K. and Morid, S. (2012) "Resolving transboundary water conflicts: lessons learned from the Qezelozan-Sefidrood river bankruptcy problem," in World Environmental and Water Resources Congress 2012: Crossing Boundaries, 2012, pp. 2406-2412.

www.SID.ir