تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال نوزدهم، شماره ۳، پائیز ۱۴۰۲، ویژه‌نامه تخصصی: آب زیرزمینی
Volume 19, No. 3, Fall 2023 (IR-WRR)- Special Issue: Groundwater
۳۹-۵۶

بازتخصیص منابع آبخوان مشترک میان ذی‌نفعان بر مبنای نظریه ورشکستگی؛ مطالعه موردی: آبخوان مشترک نیشابور-سبزوار-عطائیه

احسان بهرامی جوین [۱*]، رضا جاویدی صباغیان [۲]، محمد علی طلوعی ویرانی [۳]، بردیا روغنی [۴] و محمد فرشته‌پور [۵]

چکیده

در سال‌های اخیر، افزایش تقاضا برای بهره‌برداری از منابع مشترک آب زیرزمینی و حکمرانی نامناسب در تخصیص این منابع محدود، منجر به افزایش تعارضات میان ذی‌نفعان در مناطق مختلف جهان شده است. از این رو، با توجه به غالب بودن نیازهای آبی بر منابع قابل‌برداشت آبخوان‌ها، توسعه ساختاری مناسب برای بازتخصیص این منابع مشترک مبتنی بر اتفاق‌نظر میان ذی‌نفعان ضروری است. یکی از رویکردهای پُرکاربرد در این زمینه استفاده از روش نظریه ورشکستگی، به عنوان زیرمجموعه‌ای از نظریه بازی‌ها است. تاکنون از این رویکرد عمدتاً در بازتخصیص منابع آب سطحی استفاده شده است. در این پژوهش، چارچوبی مدون برای اعمال وزن ذی‌نفعان در روند بازتخصیص منابع آبخوان مشترک پیشنهاد شده است که منجر به بازتوزیع عادلانه‌تر منابع مذکور در شرایط ورشکستگی خواهد شد. وزن‌دهی به ذی‌نفعان در پژوهش حاضر بر اساس تعریف و استخراج معیارهای توسعه پایدار در حوزه‌های کشاورزی، شرب و صنعت و در قالب روش تحلیل سلسله‌مراتبی انجام پذیرفت. با استفاده از کاربردی‌ترین روش‌های نظریه ورشکستگی از قبیل روش‌های تناسب (PRO)، مقید به سود یکسان (CEA)، مقید به ضرر یکسان (CEL) و مقید به ضرر یکسان اصلاح‌شده (MCEL) بصورت وزن‌دار، بازتخصیص منابع آبخوان مشترک نیشابور-سبزوار-عطائیه، به عنوان یکی از مناطق دارای شرایط بحرانی ورشکستگی در ایران، انجام پذیرفت. تحلیل نتایج حاکی از آن است که برمبنای شاخص پایداری تخصیص ورشکستگی، روش وزن‌دار CEA، روش برگزیده برای بازتخصیص منابع این آبخوان مشترک است. برمبنای این روش، دشت‌های نیشابور، سبزوار و عطائیه می‌توانند به ترتیب ۳۹٪، ۶۸٪ و ۴۵٪ از تقاضای خود را دریافت کنند.

کلمات کلیدی: آبخوان مشترک؛ بازتخصیص منابع؛ نظریه ورشکستگی؛ فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی؛ شاخص پایداری تصمیم‌گیری.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۳/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۷/۱۹

۱- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران.

۲- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه حکیم سبزواری، ایران.

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه حکیم سبزواری، ایران.

۴- محقق پسادکتری، گروه مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه علم و صنعت نروژ، تروندهایم، نروژ.

۵- محقق پسادکتری، دانشگاه وسترن، لندن، اونتاریو، کانادا.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۴۰۲ امکانپذیر است.

Development of a Model for Reallocation of Shared Aquifer Resources Among Stakeholders Based on the Bankruptcy Approach; Case Study of Neyshabour-Sabzevar-Ataiyeh

E. Bahrami Jovein [1], R. Javidi Sabbaghian [2], M.A. Tolouei Virani [3], B. Roghani [4], and M. Fereshtehpour [5]*

Abstract

In recent years, the increased demand on the shared groundwater resources and inappropriate governance in allocating the limited resources has led to more conflicts between stakeholders in different regions of the world. Therefore, due to the overburden of demands over the aquifer resources, it is necessary to develop an appropriate framework for reallocation of shared aquifer resources based on the consensus among stakeholders. In this regard, one of the widely-used approaches, is the Bankruptcy Theory, as a subset of the Game Theory. So far, this approach has been used commonly in the reallocation of surface water resources. In this research, after introduction and evaluation of the most important bankruptcy methods, the Neyshabour-Sabzevar-Ataiyeh shared aquifer, as one of the most important study areas with the critical bankruptcy conditions in Iran, were reallocated among the stakeholders. Accordingly, in the proposed approach, the stakeholders' weights were estimated using the Hierarchical Analysis Process (AHP) considering the most important agricultural, drinking, and industrial sustainable development criteria. The weighted form of the most practical bankruptcy methods, including Principle of Proportionality (PRO), Constrained Equal Awards (CEA), Constrained Equal Losses (CEL) and Modified Constrained Equal Losses (MCEL) methodologies were used to reallocate the shared aquifer among the stakeholders. Based on the Bankruptcy Allocation sustainability index, the weighted CEA is selected for reallocating the shared aquifer among the stakeholders. According to the output related to this method, Neyshabour, Sabzevar and Ataiyeh plains can receive 39%, 68% and 45% of their total demand, respectively.

Keywords: Shared Groundwater Aquifer, Reallocation Model, Bankruptcy Approach, Hierarchical Analysis Prosses.

Received: June 4, 2022

Accepted: October 11, 2022

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran. Email: e-bahramij@torbath.ac.ir

2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Technical Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran. Email: r.javidi.s@hsu.ac.ir

3- MSc. Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Technical Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran. Email: ali.tolouie@yahoo.com

4- Postdoc Fellow, Department of Civil and Environmental Engineering, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norway. Email: Bardia.Roghani@ntnu.no

5- Postdoctoral Associate, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Western Ontario, London, ON, Canada.

*- Corresponding author

Dor: 20.1001.1.17352347.1402.19.3.3.2

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر رشد روزافزون جمعیت و توسعه فعالیت‌های اقتصادی، کشاورزی و صنعتی در بسیاری از مناطق جهان، از جمله ایران، افزایش تقاضا برای بهره‌برداری از منابع محدود آبی را سبب شده است. در نتیجه این امر، تعارضات میان ذی‌نفعان در چگونگی بهره‌برداری از منابع آبی مشترک افزایش قابل‌ملاحظه‌ای یافته است (Taiebzade moghadam and Malek mohamadi, 2020; Javidi Sabbaghian and Nejadhashemi; 2020). این تعارضات علاوه بر محدودیت منابع آب، اغلب به سبب تخصیص نامناسب این منابع به تقاضاهای مختلف آبی رخ می‌دهد (Bozorg-Haddad et al., 2018). از این رو، مدیریت و حلّ تعارضات حاصل از عدمِ توازن بین مقدار منابع آب دردسترس و مقدار تقاضا، به امری حیاتی در سیاست‌گذاری‌های منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای ذی‌نفعان تبدیل شده است. عدمِ توجّه به این موضوع نیز می‌تواند منجر به بروز مشکلات جدّی در تحقّق ابعاد مختلف توسعه پایدار شود. به عبارت دقیق‌تر، رقابت بر سر بهره‌برداری از منابع آبی مشترک اگرچه ممکن است در کوتاه‌مدّت منافعی را برای ذی‌نفعانِ قدرتمندتر به همراه داشته باشد، ولی به طور قطع در بلندمدّت تأثیرات منفی این برداشت‌های بی‌رویه متوجّه تمامی ذی‌نفعان واقع در حوضه آبی مشترک خواهد شد. در این راستا، و بعنوان پیش‌نیاز هرگونه سیاست‌گذاری در این حوزه، توسعه‌ی دانش کاربردی حاصل از مطالعات و پژوهش‌های مستند و معتبر مرتبط با موضوع امری ضروری میباشد (Roghani et al., 2020).

از آنجایی که توزیع آب در شرایط کمبود منابع آبی مشابه مسأله ورشکستگی در حوزه اقتصاد می‌باشد، رویکرد نظریه ورشکستگی[۱] به عنوان یکی از مهم‌ترین رویکردهای مبتنی بر حل بازی‌های همکارانه نظریه بازی‌ها[۲]، بطور فزاینده‌ای در سال‌های اخیر جهت حل تعارضات میان ذی‌نفعان و بهره‌برداران منابع آبی مورد استفاده قرار گرفته است. مدل‌های همکارانه نظریه بازی‌ها با ترکیب توابع هدف موردنظر ذی‌نفعان به یک تابع هدف، منجر به حصول نتیجه بهینه برای همگی ذی‌نفعان می‌شود. اما در ساختار مدل‌های غیرهمکارانه نظریه بازی‌ها، تصمیمات فردی ذی‌نفعان در راستای حصول حداکثری منافع، درنظر گرفته می‌شود (Sobhanieh, 2014: Rathi, S., Ghavami, B, 2018). لذا همکاری ذی‌نفعان بر توافق حاصل‌شده از کاربرد نظریه بازی‌ها بر اساس مدل های همکارانه مانند رویکرد ورشکستگی، پایدارتر بوده و منجر به کاربرد گسترده‌تر آن‌ها شده است (Jolaie et al., 2020). به عنوان مثال، Li et al. (2018) در مطالعه خود در حوضه رودخانه دونگ جیانگ چین، یک روش بهبود یافته نظریه ورشکستگی را ارائه دادند. در این مطالعه، علاوه بر درنظرگرفتن میزان مشارکت ذی‌نفعان در تغذیه منابع آب سطحی حوضه آبریز رودخانه دونگ جیانگ، بازدهی مقدار سهمیه تخصیص داده شده به هر ذی‌نفع کنترل شده و شرط برآورده‌سازی مقدار حداقل تقاضای ذی‌نفعان نیز درنظر گرفته شد. براساس نتایج، روش پیشنهادی در این مطالعه راه‌حل‌های تخصیص منطقی‌تر و منعطف‌تری را نتیجه می‌دهد.

Degefu and He. (2016) با استفاده توآمان از نظریه نش نامتقارن و مفهوم نظریه ورشکستگی، راه حل‌های بهره‌برداری مشترک از منابع آبی حوضه‌های رودخانه‌های فرامرزی همچون حوضه رودخانه نیل را بررسی کرده و نتیجه گرفتند چارچوب ترکیبی پیشنهاد شده نتایج واقع‌بینانه‌تری ارائه می‌دهد. در سال ۲۰۱۷ نیز یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره با درنظر گرفتن قوانین ورشکستگی و همچنین محدودیت‌های هیدرولوژیکی متعدد پیرامون تخصیص منابع آب حوضه آبریز مشترک بین مناطق زانگ‌جیاکو و پکن در چین پیشنهاد شد. براساس نتایج این تحقیق، تصمیم‌گیری چند معیاره با قوانین ورشکستگی نسبت به روش‌های رایج نظریه ورشکستگی ابزار مؤثرتری در راستای تخصیص منابع آب حوضه آبریز مشترک تشخیص داده شد (Zeng et al., 2017). Mianabadi et al. (2013) نیز با ارائه روش جدیدی از نظریه ورشکستگی (از منظر تخصیص کمبود کل منبع به هر ذی‌نفع توسط مقدار سهم تغذیه آبخوان هر ذینفع) به منظور تخصیص منابع آب مشترک و محدود در رودخانه‌های دجله و فرات به این نتیجه دست یافتند که روش پیشنهاد شده می‌تواند بطور بالقوه در روند تخصیص منابع آب سطحی مؤثر باشد. به عنوان نمونه‌ای دیگر از تنش‌های آبی بر سر منابع مشترک، می‌توان به رودخانه مکونگ اشاره کرد. این رودخانه از چین سرچشمه گرفته و از میانمار، لائوس، تایلند، کامبوج و ویتنام عبور می‌کند. در این ناحیه، برای حل تعارضات میان ذی‌نفعان، در سال ۲۰۱۹ براساس روش‌های نظریه ورشکستگی و بازی‌های چانه‌زنی، مدل جدید بازتخصیص وزن‌دار منابع آب ارائه شد. بررسی نتایج نشان داد که این مدل علاوه بر برآورده‌سازی تقاضای ذی‌نفعان و بیشینه‌سازی میزان رضایت جمعی آنان، پایداری و قابلیت اجرای نتایج حاصل‌شده از بازتخصیص برای ذی‌نفعان را نیز فراهم می‌کند (Yuan et al., 2019). Janjua and Hassan (2020a) بازتخصیص منابع آب حوضه رودخانه سند پاکستان را براساس نظریه ورشکستگی و استفاده از روش‌هایی همچون (PRO)[۳]، (CEA)[۴]، (CEL)[۵]، تالمود (TAL)[۶] و پینایلز (PIN)[۷] و همچنین روش ارزش شاپلی[۸] و دو روش پیشنهادی تکمیلی انجام دادند. در نهایت براساس نتایج حاصل از این روش‌ها، کاربردی‌تر

بودن روش‌های پیشنهادی در این مقاله نسبت به روش‌های متداول به اثبات رسید.

همچنین، Wickramage et al. (2020) از روش‌های نظریه ورشکستگی همچون روش اشتراک‌گذاری متناسب[۹]، روش پیشنهادی مقید به سود یکسان اصلاح‌شده (MCEA)[۱۰] روش CEA و روش CEL و روش اشتراک‌گذاری متوالی براساس اشتراک‌گذاری متناسب[۱۱] در راستای برطرف کردن چالش تخصیص منابع آب و حل مناقشات استان‌های بالادست و پایین‌دست حوضه رودخانه میسوری آمریکا استفاده کردند. نتایج تحلیل تخصیص منابع آب این رودخانه در طی دوره خشکسالی چهار ساله دلالت بر کاربردی‌تر بودن روش‌های مقید به سود یکسان اصلاح‌شده و اشتراک‌گذاری متناسب دارد. در تحقیقی دیگر Rightnar and Dinar (2020) به منظور تعیین استانداردی برای استفاده پایدار بلندمدت از منابع آب حوضه رودخانه کلرادو آمریکا، از دو رویکرد برای بازتخصیص استفاده شد. مقایسه نتایج بدست‌آمده از هر دو رویکرد که شامل ۱) رویکرد برنامه‌ریزی اجتماعی و ۲) رویکرد نظریه ورشکستگی هستند حاکی از آن است که رویکرد نظریه ورشکستگی از منظر آزادی عمل سیاست‌گذاران منطقه‌ای در تصمیم‌گیری کاربردی‌تر است. Tian et al. (2021)، رویکرد ورشکستگی در مدل‌سازی حوضه رودخانه تاریم چین به صورت یک بازی همکارانه به کار گرفته شد. استفاده از این رویکرد منجر به توسعه یک تابع خطی بیان‌کننده درجه رضایت‌مندی ذینفعان از نتایج تخصیص شد. نتایج این رویکرد حاکی از آن بود که این مدل برای بازتخصیص عادلانه آب مناسب بوده و نسبت به روش‌های معمول نظریه ورشکستگی کاربردی‌تر است.

علاوه بر مطالعات انجام شده در سایر کشورها، در ایران نیز تحقیقات متعددی در راستای حل تعارضات آبی با استفاده از رویکرد ورشکستگی انجام شده است. به عنوان نمونه، زارع‌زاده و همکاران با کاربرد روش‌های نظریه ورشکستگی سعی در تخصیص عادلانه منابع آب رودخانه قزل‌اوزون–سفیدرود داشته‌اند. نتایج آنان دلالت بر ارجحیت روش مقید به سود یکسان دارد Zarezadeh et al. (2012). در مطالعه‌ای دیگر، Oftadeh and Shourian (2016) رویکرد جدیدی از نظریه ورشکستگی را برای حلّ مناقشات حوضه رودخانه زرینه‌رود که بزرگ‌ترین و مهم‌ترین زیرحوضه دریاچه ارومیه در شمال غرب کشور ایران است ارائه کردند. این رویکرد جدید که رویکرد حفاظت از محیط زیست با عوامل ورشکستگی (ABPE)[۱۲] نامیده می‌شود در کنار سایر روش‌های رویکرد نظریه ورشکستگی مورد استفاده قرار گرفت. مطابق نتایج، هیچکدام از روش‌های این نظریه (از جمله رویکرد جدید) نتوانست به طور کامل بر کمبود منابع آب دریاچه غلبه نماید. از این رو، بنابر توصیه پژوهشگران، مطالعه سایر معیارهای اساسی لازم مرتبط با حوزه مسائل اجتماعی–اقتصادی در کنار معیار اصلاح الگوی مصرف ذینفعان به منظور کاهش شدت وخامت شرایط آبی حوضه رودخانه زرینه‌رود مورد توجه قرار گرفته است. همچنین، Sadat et al. (2018) نیز رویکرد حل اختلاف مبتنی بر روش‌های نظریه ورشکستگی به همراه بهینه‌سازی پارامترها و ضرایب با استفاده از روش الگوریتم دسته ذرات (PSO)[۱۳] در رودخانه مرزی ارس را به کار گرفتند. نتایج حاکی از آن بود که روش مقیّد به ضرر یکسان به دلیل تخصیص میانگین بیشتر برای کل نیازهای حوضه آبریز نسبت به سایر روش‌ها برتری دارد. Kamju and Khochiani (2020) به جهت بازتخصیص منابع آب سطحی و زیرزمینی حوضه آبریز زاینده‌رود برمبنای اثبات تخصیص نابرابری کمتر به ذی‌نفعان توسط منحنی لورنز[۱۴] و ضریب جینی[۱۵]، روش CEA را به عنوان روش برتر انتخاب کردند. در بازتخصیص منابع آب سطحی حوضه دریاچه ارومیه بین ذینفعان (استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و کردستان) و همچنین درنظرگرفتن حق‌آبه زیست‌محیطی این دریاچه، در سال ۲۰۲۰ برخی از روش‌های متداول رویکرد نظریه ورشکستگی مورد استفاده قرار گرفتند. براساس نتایج حاصل‌شده و استفاده از روش شاخص اکثریت آراء (PI)[۱۶]، روش CEA به عنوان روش برتر این پژوهش انتخاب شد (Taiebzade moghadam and Malek mohamadi, 2020). Jamalomidi and Moridi (2020) با به‌کارگیری روش‌هایی از نظریه ورشکستگی همچون روش PRO، CEA، CEL، TAL و PIN نسبت به مدیریت و کاهش برداشت از آبخوان حاجی‌آباد واقع در استان هرمزگان اقدام کردند. در این مطالعه جریان آب آبخوان به واسطه مدل Modflow شبیه‌سازی و در نهایت با استفاده از روش‌های همکارانه نظریه ورشکستگی، مقادیر جدید برداشت ذینفعان از آبخوان موردنظر تعیین شد. برخی از مهم ترین مطالعات داخلی و خارجی انجام شده در سال های اخیر جهت بازتخصیص منابع آبی با استفاده از رویکرد نظریه ورشکستگی در جدول ۱ به صورت خلاصه ارائه شده‌اند.

Table 1- Review of the most significant studies which applied bankruptcy theory in water resources allocation

جدول ۱- مروری بر مهم‌ترین مطالعات انجام شده اخیر جهت بازتخصیص منابع آبی با استفاده از رویکرد نظریه ورشکستگی

Author(s)	Location	Applied Method(s)	Innovation
(Zheng et al., 2022)	Liangzi Lake basin, Ezhou City, China	Using proportional (PRO), Constrained equal awards (CEA), Constrained equal losses (CEL), Piniles (PIN) and Talmud (TAL) methods	A new allocation rule under water scarcity
(Yazdian et al., 2021)	Three regions of Minudasht, Azadshahr and Gonbad-e-kavus, Iran	A new approach was applied based on the simulation-optimization framework for shared groundwater management under water bankruptcy conditions	A simulation-optimization for a shared framework water resource management under water bankruptcy conditions
(Iranshahi et al., 2021)	Atrak river basin, Iran	of the Combined use Asymmetric Nash Bargaining solution and the Bankruptcy theory	Combined useing of bankruptcy and asymmetric Nash bargaining concepts
(Jolaie et al., 2020)	Gorganrood-Gharesoo basin, Iran	The core rule of game theory and some bankruptcy methods were used	Combined use~~ing~~ of core method and indefinite bankruptcy
(Kamju and Khochiani, 2020)	Zayandeh Rood river basin, Iran	The (PRO), (CEA), (CEL), (PIN) and (TAL) methods used for Optimal allocation of surface and groundwater resources	Combined use of bankruptcy and tennant method

بررسی سوابق مطالعاتی موجود نشان می‌دهد که تقریباً در تمامی این مطالعات تمرکز بر مسائل بازتخصیص منابع آب سطحی بوده است. لذا با توجه به اهمیتی که همکاری و مشارکت همکارانه بین بهره‌برداران آبی جهت پایداری آبخوان وجود دارد و از سوی دیگر تمرکز عمده مسائل بازتخصیص آبخوان‌ها بر استفاده از روش‌های غیرهمکارانه می‌باشد. در این پژوهش تلاش گردیده است تا در ادامه مطالعات انجام‌شده در زمینه بازتخصیص منابع آب سطحی میان ذینفعان، چارچوبی روش‌مند مبتنی بر استفاده از نظریه ورشکستگی جهت بازتخصیص منابع آبخوان‌های مشترک، با تأکید بر منابع آب زیرزمینی مشترک، ارائه شود. در چارچوب پیشنهادی، ضمن لحاظ کردن نظرات ذینفعان از طریق فرآیند تصمیم‌گیری چندمعیاره با استفاده از روش AHP[۱۷]، معیارهای مهم توسعه پایدار ارزیابی گردید و در فرآیند بازتخصیص بین دشت‌ها بر پایه رویکرد نظریه ورشکستگی وزن‌دار منظور شد. همچنین با ارزیابی شاخص‌های پایداری تصمیم‌گیری، مقبول‌ترین روش بازتخصیص توسط ذینفعان انتخاب شد. در این راستا چارچوبی مدون برای اعمال وزن ذینفعان در روند بازتخصیص منابع آبخوان مشترک پیشنهاد شده است که منجر به بازتوزیع عادلانه‌تر منابع آبخوان در شرایط ورشکستگی خواهد شد. وزن‌دهی به ذینفعان مبتنی بر معیارهای توسعه پایدارِ مورد اجماع ذی‌نفعان همراه با درنظر گرفتن نظرات نمایندگان ذینفعان در حوزه‌های کشاورزی، شرب و صنعت برپایه یک روش علمی (تحلیل سلسله‌مراتبی) می‌تواند به عنوان یکی از نوآوری‌های پژوهش حاضر درنظر گرفته شود. لازم به ذکر است توسعه پایدار یک اصل سازماندهی برای دستیابی به اهداف توسعه انسانی است. در عین حال توانایی سامانه‌های طبیعی برای ارائه منابع طبیعی و اکوسیستمی را که اقتصاد و جامعه به آن وابسته است، حفظ می‌کند. بر این اساس، پایداری منابع آب نیز که به عنوان یکی از بخش‌های مهم توسعه پایدار محسوب می‌گردد، باید مبتنی بر معیارهایی باشد که اهداف اجتماعی–اقتصادی و زیست‌محیطی را تأمین نماید. بدین منظور، مهم‌ترین معیارهای توسعه پایدار براساس تعاریف آن در گزارش قانون برنامه ششم توسعه جمهوری اسلامی ایران و نیز گزارش برنامه توسعه ملل متحد (UNDP)[۱۸] برای محاسبات وزن ذینفعان استخراج و در چارچوب پیشنهادی گنجانده شده است؛ که به نوعی توجه ویژه به نقش مهم برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری‌های مدیران برای توسعه پایدار جوامع را نشان می‌دهد.

۲- مواد و روش‌ها

فرآیند انجام پژوهش حاضر شامل سه گام کلی بوده که در شکل ۱ نمایش داده شده است. بر اساس این شکل، در گام اول با استفاده از

تحلیل سلسله‌مراتبی[19]، وزن ذینفعان یا به عبارتی درجه اهمیت آنان در تأمین معیارهای توسعه پایدار در روش‌های بازتخصیص مبتنی بر نظریه ورشکستگی مشخص می‌شود. در گام دوم، با استفاده از رویکردهای ورشکستگی وزن‌دار، بازتخصیص منابع آبخوان انجام می‌پذیرد.

در نهایت، با استفاده از سه شاخص اکثریت آرا، قدرت و پایداری تخصیص ورشکستگی، پایداری و مقبولیت روش‌های مورد استفاده مقایسه می‌شود. در ادامه روش‌شناسی هر یک از این گام‌ها به تفصیل شرح داده شده است.

۲-۱- تعیین وزن ذینفعان

در پژوهش حاضر، با توجه به استفاده از روش‌های تکامل‌یافته نظریه ورشکستگی (در کنار سایر روش‌ها)، که بر مبنای وزن‌دهی به ذینفعان، بهبود و تکامل یافته‌اند، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برای تعیین وزن هر یک از ذینفعان استفاده شده است. به منظور تعریف معیارهای مورد استفاده در این فرآیند، سه شاخص مرتبط با هر معیار اصلی کشاورزی، شرب و صنعت از بین مجموعه‌ای از شاخص‌های تبیین شده در برنامه ششم توسعه جمهوری اسلامی ایران استخراج شد که در جدول ۳ نمایش داده شده‌اند. همچنین، به منظور تبیین هرچه واضح‌تر این معیارها و کمک به شفاف‌سازی در تصمیم‌گیری، برای هر کدام از این شاخص‌ها تعریف لازم ارائه شد. در ادامه با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی، ابتدا باید وزن ذینفعان براساس مقایسات زوجی هر یک از عناصر سطح مربوط به شاخص‌های توسعه پایدار از منظر مصارف کشاورزی (سطح زیرکشت، بهره‌وری کشاورزی، توسعه کشاورزی)، مصارف شرب (کیفیت آب، رشد جمعیت، توسعه زیرساخت‌ها) و مصارف صنعتی (بهره‌وری صنعتی، توسعه صنعتی و اشتغال‌زایی صنعتی) نسبت به هر شاخص مربوط به سطح بالاتر (معیارهای کشاورزی، شرب و صنعت) تعیین شود.

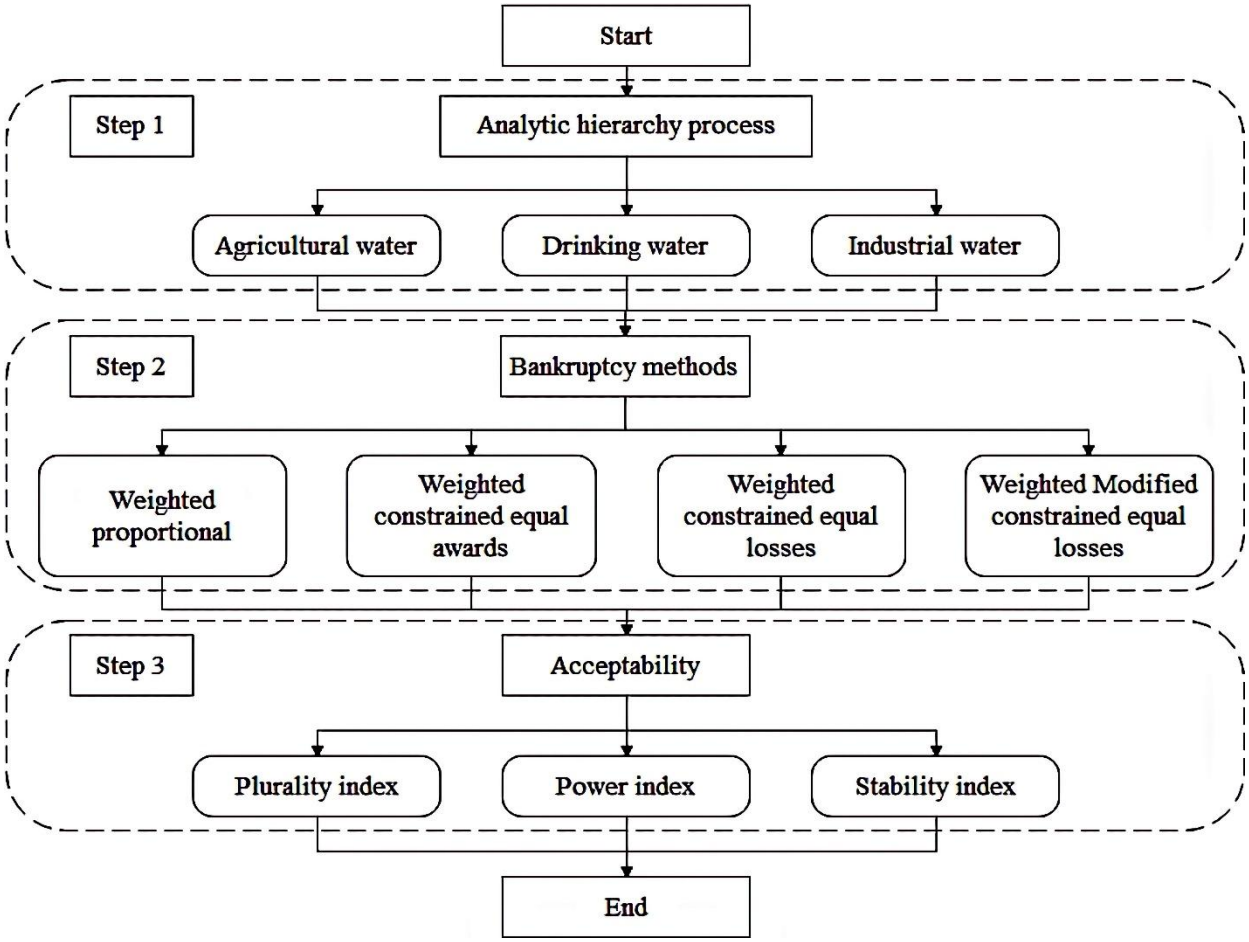


Fig. 1- The proposed flow diagram of the shared groundwater reallocation among the stakeholders based on the Bankruptcy theory method

شکل ۱- فرآیند پیشنهادی بازتخصیص منابع آبخوان مشترک میان ذی‌نفعان برمبنای روش نظریه ورشکستگی

بدین منظور به کمک طرح پرسشنامه، مقدار وزن هر ذینفع براساس شاخص‌هایی که برمبنای سیاست‌های کلی برنامه ششم توسعه جمهوری اسلامی ایران طراحی شده است، تعیین شد. این پرسشنامه در راستای اعمال رویکرد مشارکت‌مدارانه بهره‌برداری از منابع آب، در میان کارشناسان و خبرگان صنعت آب توزیع و از پرسش‌شوندگان خواسته شد تا بر اساس مقادیر کمّی از یک تا نه، مطابق جدول ۲، مقایسات زوجی مطرح شده در پرسشنامه را مقداردهی کنند. نحوه تحلیل نظرات جمع‌آوری شده نیز برمبنای اصول روش تحلیل سلسله‌مراتبی است.

در این روش در مرحله اول، ماتریس مقایسات زوجی بین شاخص‌ها نسبت به هدف و همچنین بین زیرشاخص‌ها نسبت به شاخص بالاسری با استفاده از جدول ۲ تشکیل شد. در مرحله دوم، درایه‌های ماتریس‌های مقایسات زوجی، با تقسیم هر درایه بر مجموع درایه‌های همان ستون نرمال‌سازی شده و سپس با میانگین‌گیری سطری از درایه‌های نرمال‌سازی شده، بردار وزن نسبی هر سطر تعیین شد. در مرحله سوم، بردار مجموع وزنی را که حاصلضرب ماتریس مقایسات زوجی در بردار وزن نسبی است، محاسبه کرده و در مرحله چهارم، پس از میانگین‌گیری از درایه‌های بردار سازگاری، مقدار شاخص ناسازگاری هر ماتریس مقایسات زوجی و همچنین مقدار شاخص ناسازگاری کل درخت تصمیم در مقایسه با مقدار شاخص ناسازگاری ۰/۱ برای کنترل اعتبار نظرات کارشناسان محاسبه شد. در مرحله پنجم، مقادیر وزن نهایی ذینفعان، بصورت مجموع حاصلضرب وزن‌های نسبی هر معیار و شاخص‌های مرتبط با آن تعیین شد. در شکل ۲، درخت سلسله‌مراتبی ایجاد شده برمبنای شاخص‌های توسعه پایدار و دسته‌بندی آنان نمایش داده شده است.

Table 2- The equivalent numerical values of the relative preference comparisons in the AHP method

جدول ۲- مقادیر عددی معادل مقایسات نسبی ارجحیت‌ها در روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی

Linguistic statement	Description	Equivalent numerical value
Equal	Criterion i has the same importance as the criterion j	1
Weakly better	is slightly more important than the criterion j Criterion i	3
Definitely better	Criterion i is more important than the criterion j	5
Very strongly better	Criterion i is much more important than the criterion j	7
Absolutely better	Criterion i has fully precedence over the criterion j	9
Intermediate values	For example 8 indicate a value greater than 7 and lower than 9 for i	2,4,6,8

Table 3- Sustainable development indicators for weighting of riparian states on the shared aquifer

جدول ۳- شاخص‌های توسعه پایدار برای وزن‌دهی ذی‌نفعان آبخوان مشترک

Criterion	Indicator	Description	Source
Agriculture	Area under cultivation	The area of land that is irrigated for agricultural purposes	General policies of the Sixth Development Plan of the Islamic Republic of Iran: Sections 7, 8 and 10
	Agricultural productivity	Gross value added of agricultural products	
	Agricultural Development	Agricultural growth rate	
Drinking	Water Quality	Quality level of drinking water	
	Population growth	Population growth rate or need for drinking water	
	Infrastructure development	Rate of development of infrastructure related to the quantity and quality of drinking water	
Industry	Industrial productivity	Gross value added of industrial products	
	Industrial Development	The amount of increase in the growth rate of the industry	
	Industrial employment	The growth rate of employees in the industry	

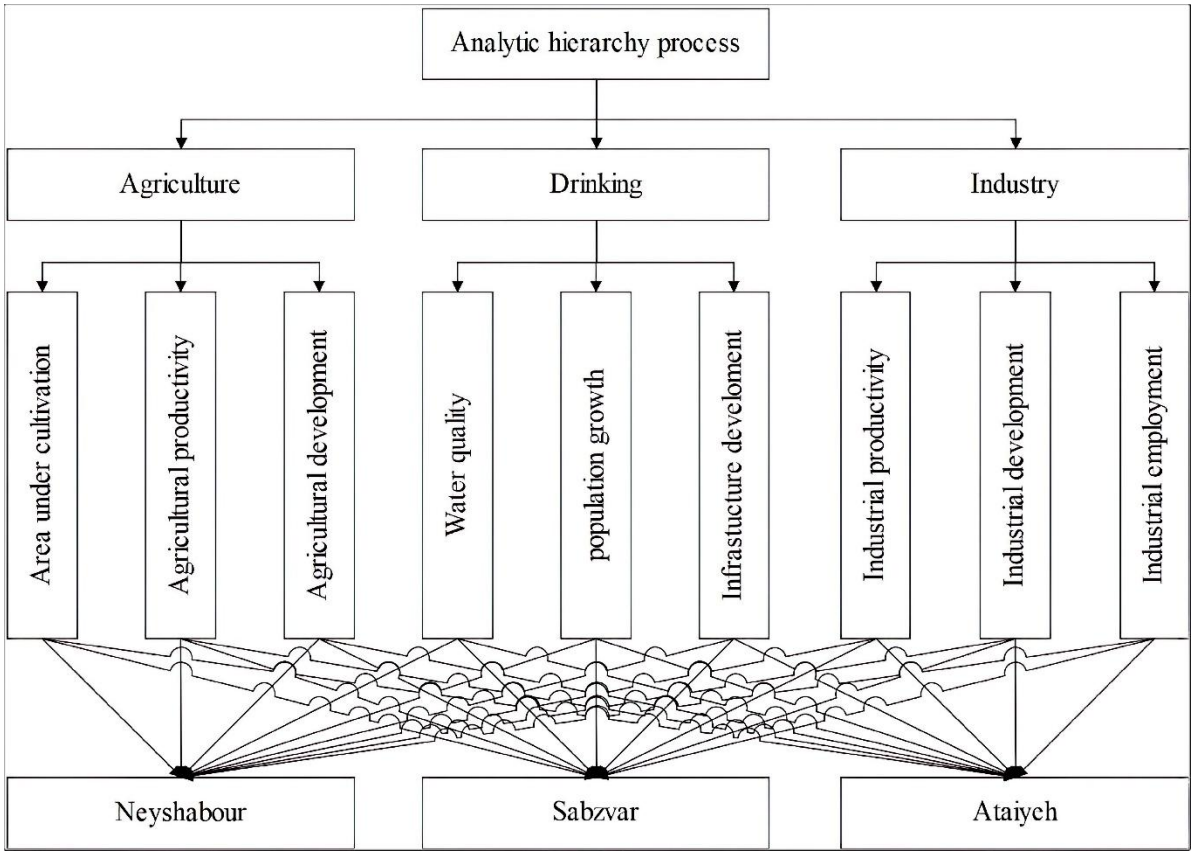


Fig. 2- Hierarchical tree

شکل ۲- درخت فرآیند تحلیل سلسه‌مراتبی معیارهای توسعه پایدار

۲-۲- روش‌های وزن‌دار رویکرد ورشکستگی

با توجه به تمرکز پژوهش حاضر بر بررسی نتایج حاصل از تشکیل ائتلاف ذی‌نفعان و همچنین بررسی و تحلیل چگونگی رویکرد بازتخصیص منابع آب زیرزمینی مشترک در قالب متداول مدل بازی‌های همکارانه بر مبنای نظریه ورشکستگی، برخی روش‌های وزن‌دار رویکرد نظریه ورشکستگی در پژوهش حاضر استفاده شده است که در ادامه تشریح می‌شوند.

۲-۲-۱- روش تناسب وزن‌دار (WPRO)[۲۰]

در این روش، بازتخصیص منابعِ در دسترس بین ذینفعان براساس مقدار وزن هر ذینفع و ضریبی که حاصل از نسبت بین مقدار کل منابع در دسترس و مقدار کل تقاضاهای موجود است، صورت می‌گیرد:

$$X_i^{wpro}=\min(\lambda w_i c_i, c_i) \text{ where } E=\sum_{i\in N}\min(\lambda w_i c_i, c_i) \quad (۱)$$

$$, \quad \lambda = \frac{E}{C}$$

در روابط فوق c_i میزان تقاضای هر ذینفع، w_i وزن مرتبط با ذینفع i، N تعداد ذینفعان، E کل مقدار منبع در دسترس، X_i مقدار سهم اختصاص یافته از منبع به ذینفع i و λ ضریب اختصاص منابع به هر ذی‌نفع است.

لازم به ذکر است که فرض این روش بر آن است که جدای از مقدار وزن تعیین شده برای هر ذینفع، بواسطه ضریب λ، به ذینفعان اهمیت یکسانی می‌دهد. به بیانی دیگر، این فرض می‌تواند به عنوان محدودیت این روش در تعیین سهمیه‌های عادلانه نسبی نیز تلقی شود. علاوه بر آن، عدم درنظر گرفتن سهم هر ذینفع در تغذیه آبخوان بصورت مجزا می‌تواند به عدم رعایت عدالت نسبی منجر شود چرا که این امکان وجود دارد تا ذینفع با سهم تغذیه آبخوان کمتر، سهمیه بازتخصیص بیشتری نسبت به ذی‌نفع با سهم تغذیه آبخوان بیشتر دریافت کند. در واقع این محدودیت در سایر روش‌های بکار گرفته شده جز روش MWCEL نیز صدق می‌کند.

۲-۲-۲- روش مقید به سود یکسان وزن‌دار (WCEA)[۲۱]

این روش اولویت تخصیص را به ذینفعان با نیاز کمتر می‌دهد. پس از برآوردن نیاز ذینفع با حداقل تقاضا، برای سایر ذینفعان نیز همین روند

تکرار شده و در نتیجه در این روش ذینفعان بیش از میزان تقاضای خود سهم دریافت نخواهند کرد (Jalili Kamju and Khochiani, 2020). در این روش مقدار منابع در دسترس بصورت مساوی با توجه به ضریب تعیینی این روش برای هر ذینفع تقسیم‌بندی می‌شود (Casas-méndez et al., 2011; Mianabadi et al., 2015):

$$X_i^{wcea}=\min(\lambda,c_i) \text{ such that } E=\sum_{i\in N}\min(\lambda,c_i) \quad (۲)$$
$$, \quad \lambda = E * w_i$$

از محدودیت‌های این روش می‌توان به درنظر گرفتن ضرر زیاد برای ذذینفعان با تقاضای بیشتر نسبت به سایرین اشاره کرد. چرا که برطبق فرض این روش، ذینفعان با تقاضای کمتر نسبت به سایرین سهمیه‌های بازتخصیص بیشتری دریافت می‌کنند.

۲-۲-۳- روش مقید به ضرر یکسان وزن‌دار (WCEL)[۲۲]

این روش عکس روش مقید به سود یکسان وزن‌دار عمل می‌کند، بدین ترتیب که اولویت تخصیص را به ذینفعان با نیاز بیشتر می‌دهد که مزیتی برای ایشان است. پس از براوردن نیاز ذینفع با بیشترین تقاضا، برای سایر ذینفعان نیز همین روند تکرار می‌شود. بطورکلی این روش مقدار کمبود منابع و یا به بیانی تفاضل مقدار منابع در دسترس و مقدار تقاضای ذینفعان را بین تمام ذینفعان به‌صورت زیر تقسیم می‌کند (Casas-méndez et al., 2011; Mianabadi et al., 2015):

$$X_i^{wcel}=\max(0,C_i-\lambda) \text{ where } E=\sum_{i\in N}\max(0,C_i-\lambda) \quad (۳)$$
$$, \quad \lambda_i = (C-E) * w_i$$

برخلاف فرض و محدودیت‌های ذکر شده برای روش WCEA، این روش ضرر بیشتری را برای ذینفعان با تقاضاهای کمتر به ارمغان آورده چرا که سهمیه‌های بازتخصیص بیشتری را به ذینفعان با تقاضاهای بیشتر اختصاص می‌دهد.

۲-۲-۴- روش مقید به ضرر یکسان وزن‌دار اصلاح شده (MWCEL)[۲۳]

این روش به دنبال اعمال بازتخصیصی عادلانه‌تر برمبنای روش مقید به ضرر یکسان وزن‌دار است، چراکه در روش مقید به ضرر یکسان وزن‌دار، سهم ذینفعان از منبع بدون درنظرگرفتن سهم آنان در تغذیه منبع تعیین می‌شود در حالیکه منطقی‌تر آن است که تأثیر سهم آنان در تغذیه منبع نیز درنظر گرفته شود. این روش تفاوت میان میزان منابع در دسترس و میزان تقاضاهای ذینفعان را به نسبت معکوس از سهم هر ذینفع در تغذیه منابع در دسترس مرتبط می‌سازد. به بیانی دیگر، هر چقدر مقدار سهم هر کدام از ذینفعان از تغذیه منابع در دسترس بیشتر باشد، تفاوت مقدار بین تقاضای آن ذینفع و سهمیه‌ای که دریافت می‌کند کمتر خواهد بود. در اینجا سهم هر ذینفع مطابق روابط زیر تعیین می‌شود (Mianabadi et al., 2015):

$$X_i=c_i-d_i \quad (۴)$$

$$d_i=\left[\frac{1-\left(\frac{w_i a_i}{\sum_{i\in N} w_i a_i}\right)}{n-1}\right] * D \text{ where } \sum_{i\in N} w_i=1 \text{ such that } d_i \le c_i \quad (۵)$$

$$D=C-E \quad (۶)$$

$$\psi_i(N,E,c_i,a_i,w_i)=c_i-\left[\frac{1-\left(\frac{w_i a_i}{\sum w_i a_i}\right)}{n-1} * D\right] ; \ 0\le x_i \le c_i \quad (۷)$$

در روابط فوق، a_i مقدار وزن هر ذینفع، d_iمیزان سهم تغذیه منبع در دسترس توسط هر ذینفع، C مقدار کل تقاضاهای ذینفعان ، E مقدار کل سهم تغذیه آبخوان توسط ذینفعان و D مقدار اختلاف کل منابع در دسترس و مجموع تقاضاهای ذینفعان است.

۲-۳- انتخاب روش برگزیده براساس شاخص‌های پایداری تصمیم‌گیری

براساس رویکردهای متفاوت روش‌های ورشکستگی در بازتخصیص منابع دردسترس، انتخاب روشی که همکاری پایدار ذینفعان را برمبنای جلب رضایت آنان از سوددهی شرکت در یک بازی همکارانه نسبت به بازی غیر همکارانه تضمین کند حائز اهمیت است. بطورکلی امکان مقایسه کمّی میزان تمایل ذینفعان به همکاری در روش‌های رویکرد ورشکستگی، می‌تواند مدیر یا سیاست‌گذار بخش مربوطه را در روند انتخاب روش بازتخصیص برمبنای درجه پایداری همکاری ذینفعان یاری کند. بدین ترتیب در ادامه، شاخص‌های انتخاب روش برگزیده مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۳-۱- شاخص اکثریت آرا[۲۴]

این روش به عنوان یکی از متداول‌ترین روش‌های پذیرش یک قاعده تصمیم‌گیری در مسائل تصمیم‌گیری بین ذینفعان شناخته می‌شود (Zarezadeh et al., 2013). در این روش، ذینفعان به روشی از روش‌های ورشکستگی عدد ۱ را اختصاص می‌دهند که آن روش بیشترین مقدار سهمیه از منبع مشترک را به آنان اختصاص داده باشد. در غیر این‌صورت به آن روش مقدار صفر را اختصاص خواهند داد (Jolaie et al., 2020).

۲-۳-۲- شاخص قدرت[۲۵]

در این روش، کمّی‌سازی میزان مقبولیت روش‌ها از دیدگاه ذینفعان برمبنای حداکثرسازی مقدار سود حاصل شده از بازی همکارانه، انجام می‌شود. در این روش ابتدا شاخص قدرت ذینفعان برمبنای روش‌های

بکار رفته از رویکرد ورشکستگی مطابق رابطه ۹ محاسبه می‌شود. سپس مطابق رابطه ۱۰، نسبت انحراف معیار شاخص‌های قدرت ذینفعان (که در مرحله قبل محاسبه شد) به میانگین همان شاخص‌های قدرت، به عنوان میزان پایداری روش مذکور درنظر گرفته می‌شود. در اینجا هرچه مقدار این شاخص کمتر باشد، روش مذکور نسبت به بقیه روش‌ها پایدارتر است.

$$p_i = \frac{c_i - x_i}{\sum_{j\in N}(c_j - x_j)} \quad , \; i \in N \quad \sum_{i\in N} p_i = 1 \qquad (۹)$$

$$S_a = \frac{\sigma_a}{\bar{a}} \qquad (۱۰)$$

در روابط بالا، p_i شاخص قدرت ذی‌نفع i، c_i میزان تقاضای ذی‌نفع i، x_i میزان سهمیه‌ی تخصیص یافته به ذینفع i، S_a شاخص پایداری، σ_a انحراف معیار شاخص قدرت ذینفعان و $\bar{a}$ میانگین شاخص قدرت ذینفعان می‌باشد (Jolaie et al., 2020).

۲-۳-۳- شاخص پایداری تخصیص ورشکستگی (BASI)[۲۶]

از آنجایی که این روش، اصلاحیه‌ای بر روش شاخص قدرت است، بنابراین روابط ذکر شده در بخش ۲-۳-۲ بصورت روابط ۱۱، ۱۲ و ۱۳ تغییر پیدا می‌کنند. ابتدا مقدار شاخص قدرت ورشکستگی برای هر ذینفع مطابق رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود:

$$BPI_i = \frac{S_i - \upsilon_i}{\sum_{j\in N}(S_j - \upsilon_j)} \quad , \; i \in N \quad \sum_{i\in N} BPI_i = 1 \qquad (۱۱)$$

$$S_i = \sum_{t=1}^{n} S_{i,t} \qquad (۱۲)$$

$$v_i = \sum_{t=1}^{n} v_{i,t} \qquad (۱۳)$$

در روابط بالا، BPI_i شاخص قدرت ورشکستگی برای ذی‌نفع i، S_i میزان منابع اختصاص داده شده به ذینفع i، υ_i میزان منابع تخصیص یافته به ذینفع i توسط سایر ذینفعان ، t بازه‌های زمانی در کل مدت موردنظر برای برنامه‌ریزی، n تعداد بازه‌های زمانی و N تعداد ذینفعان می‌باشد. لازم به ذکر است بحث زمان هنگامی که آب به طور متناسب در چند مرحله زمانی (به عنوان مثال، روزها، هفته‌ها و ماه‌ها) در طول افق برنامه‌ریزی (به عنوان مثال، یک سال، پنج سال و ۱۰ سال) تخصیص داده شود، در روابط تخصیص منعکس می‌شود. لذا با توجه به اینکه در پژوهش حاضر علیرغم برآورد پارامترهای تقاضا و تغذیه بر اساس مجموع داده‌های ماهیانه، تخصیص به صورت چندمرحله زمانی نبوده لذا در محاسبه پارامترها و شاخص‌ها از جمله شاخص BASI بحث تجمیع زمانی نقشی را بازی نکرده و پارامتر S_i در این شاخص میزان منابع اختصاص داده شده توسط هر روش و υ_i میزان کل منابع تخصیص یافته به ذینفع i توسط سایر ذی‌نفعان است که از اختلاف میزان منبع کل در دسترس با مجموع تقاضای سایر ذینفعان محاسبه می‌شود. در مرحله بعد، مقدار شاخص پایداری تخصیص ورشکستگی مطابق رابطه ۱۴ تعیین می‌شود:

$$BASI = \frac{\sigma_{BPI}}{\overline{BPI}} \qquad (۱۴)$$

در این رابطه، σ_{BPI} انحراف معیار شاخص‌های قدرت ورشکستگی ذینفعان و $\overline{BPI}$ میانگین شاخص‌های قدرت ورشکستگی ذینفعان می‌باشد. هرچقدر مقدار شاخص پایداری تخصیص ورشکستگی روشی کمتر باشد، آن روش از پایداری بیشتری در بین ذینفعان برای بازتخصیص منابع مشترک برخوردار است (Madani et al., 2014).

در نهایت با محاسبه میزان شاخص‌های پایداری در روش‌های به کار گرفته شده و تحلیل آن‌ها، روش برگزیده به جهت تضمین همکاری ذینفعان و جلوگیری از منازعات و اختلافات بیشتر و همچنین رعایت عدالت بیشتر در بازتخصیص منابع آب آبخوان مشترک، انتخاب و پیشنهاد می‌شود.

۲-۴- معرفی محدوده مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه پژوهش حاضر در حوضه آبریز کویر مرکزی ایران قرار دارد که متشکل از دشت‌های نیشابور، سبزوار و عطائیه است. دشت نیشابور به عنوان مهم‌ترین بخش این محدوده از نظر بهره‌برداری، در منتهی‌الیه شمال‌شرقی حوضه آبریز کویر مرکزی واقع شده است به‌طوری‌که آبخوان این دشت وسعتی معادل ۲۸۹۱/۲ کیلومترمربع دارد. دشت عطائیه در همسایگی غربی دشت نیشابور واقع شده است و آبخوان این دشت وسعتی معادل ۱۴۰۲/۲ کیلومترمربع را دارا است. دشت سبزوار نیز با آبخوانی به وسعت ۲۱۵۲/۹ کیلومترمربع در منتهی‌الیه غربی استان خراسان رضوی قرار دارد و با آبخوان عطائیه از طریق مرز شرقی خود مرتبط است (Iran Ministry of Energy, 2017). در شکل ۳ موقعیت جغرافیایی دشت‌های نیشابور، عطائیه و سبزوار نسبت به حوضه آبریز کویر مرکزی نشان داده شده است.

۲-۴-۱- مشخصات منابع و مصارف محدوده مطالعاتی

بر اساس تعریف نظریه ورشکستگی در مدیریت منابع آب زیرزمینی، کمبود مقدار منابع آبخوان در مقابل مجموع تقاضاهای ذینفعان سبب رخداد چنین وضعیتی می‌شود. در پژوهش حاضر، فرض می‌شود که میزان آب قابل‌برداشت از آبخوان بر اساس مفهوم "آبدهی پایدار"[۲۷] معادل میزان تغذیه آبخوان باشد. این فرض منجر به صفر شدن بیلان آب زیرزمینی آبخوان مورد مطالعه شده و از افت تراز آب آبخوان (که باعث پیامدهای منفی برگشت‌ناپذیری مانند فرونشست زمین می‌شود) جلوگیری می‌شود.

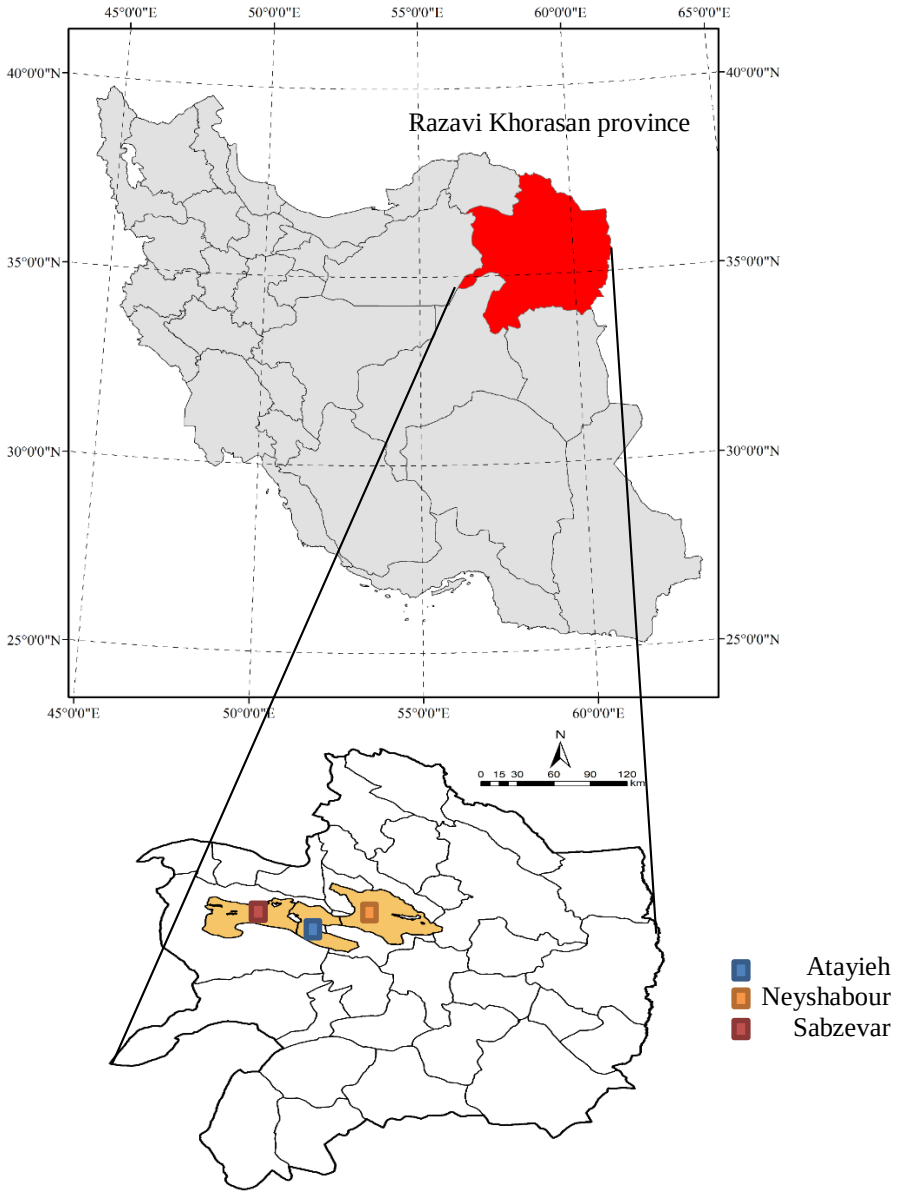


Fig. 3- Study area of Neyshabour, Ataiyeh and Sabzevar plains in Razavi Khorasan province, Iran

شکل ۳- محدوده‌های مطالعاتی دشت‌های نیشابور، عطائیه و سبزوار در استان خراسان رضوی در ایران

در ارتباط با فرض انجام شده لازم به ذکر است که اولین مفهوم مرتبط با میزان حجم برداشت از منابع آبخوان با هدف پایداری آب زیرزمینی مفهوم آبدهی مطمئن[۲۸] بوده که در گذر زمان توجه به افت سطح آب زیرزمینی، تغییرات کیفیت آب و غیره منجر به تعریف مفهوم آبدهی پایدار شد. آبدهی پایدار برآوردی واقع بینانه از مقدار آبی است که براساس بیلان ورودی و خروجی آب زیرزمینی می‌تواند پمپاژ شود به طوریکه از افت سطح آب آبخوان در یک دورهٔ طولانی مدت، اجتناب شود (Rudestam and Langridge, 2013).

با توجه به اطلاعات ارائه‌شده مربوط به منابع آبی حاصل از مشارکت ذینفعان در تغذیه آبخوان مشترک نیشابور–عطائیه–سبزوار و نیز تقاضاهای آبی ذینفعان از این آبخوان در جدول ۴، مجموع مشارکت دشت نیشابور برابر ۳۲۵/۱ میلیون‌مترمکعب است که از این منظر در رتبه نخست مشارکت در تغذیه منابع آبخوان مشترک قرار دارد (معادل ۶۲/۸۷ درصد از کل مشارکت در تغذیه آبخوان). دشت‌های سبزوار و عطائیه نیز به ترتیب ۲۳/۳۲ و ۱۳/۸۱ درصد از کل مشارکت در تغذیه آبخوان را تشکیل می‌دهد. همچنین، در زمینه میزان تقاضای ذینفعان از محل آبخوان، بنابر آمار و ارقام گزارش شرکت آب منطقه‌ای خراسان

رضوی مربوط به سال آبی ۹۰-۸۹، مجموع مقدار تقاضای بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت دشت نیشابور برابر ۷۱۵/۳۵ میلیون‌مترمکعب است که در رتبه اول مقدار تقاضاهای ذینفعان قرار دارد. از این‌رو، دشت نیشابور ۶۴/۶۷ درصد از کل تقاضاهای آبی را به خود اختصاص داده است و دشت‌های سبزوار و عطائیه نیز بنابر همان آمار و ارقام گزارش، به ترتیب ۲۳/۹ و ۱۱/۴۳ درصد از کلّ تقاضاها را تشکیل می‌دهند.

با توجه به جدول ۴، مجموع مقدار تقاضاهای آبی ذینفعان آبخوان مشترک نیشابور-عطائیه-سبزوار (مجموع تقاضاهای بخش‌های کشاورزی، شرب، صنعت، به علاوه جریان‌های زیرزمینی خروجی مرتبط به محدوده‌های مطالعاتی) برابر ۱۱۰۶/۱۹ میلیون‌مترمکعب است، درحالی‌که مجموع مقدار مشارکت آنان در تغذیه آبخوان (مجموع مقدار تغذیه آبخوان ناشی از بازگشت آب بخش‌های کشاورزی، شرب، صنعت، و همچنین تغذیه ناشی از بازگشت آب بارش) برابر ۵۱۷/۱۳ میلیون‌مترمکعب است. به عبارت دیگر، مجموع مقدار تغذیه آبخوان توسط ذی‌نفعان که به عنوان منبع آبخوان قابل‌برداشت در پژوهش حاضر فرض شده است، تنها ۴۶/۷۵ درصد از کلّ تقاضای ذینفعان را پاسخگو بوده و آبخوان مشترک با ۵۸۹/۰۶ میلیون‌مترمکعب کمبود حجم آب برای پاسخگویی به تقاضای ذینفعان مواجه است. با توجه به ارقام بیان‌شده، شرایط ورشکستگی آبخوان مشترک دشت‌های نیشابور، عطائیه و سبزوار کاملاً مشهود است. از این رو، تحلیل رویکرد نظریه ورشکستگی در بازتخصیص منابع آبی آبخوان مشترک به ذینفعان در این دشت با وضعیت بحرانی، برای حل تعارضات محتمل میان ذینفعان، ، قابل توجیه است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج وزن‌دهی ذینفعان

در گام اول از ساختار پیشنهادی پژوهش حاضر (شکل ۱) شامل تعیین وزن هر یک از ذینفعان با توجه به شاخص‌های گزینش شده از برنامه ششم توسعه جمهوری اسلامی ایران استفاده می‌شود. بر اساس مراحل روش تحلیل سلسله‌مراتبی، ابتدا نظرات کارشناسان درباره شاخص‌های منتخب از هر دسته‌بندی کشاورزی، شرب و صنعت جمع‌آوری شده، سپس مطابق با عملیات‌های ریاضی روش تحلیل سلسله‌مراتبی مقایسات زوجی انجام می‌پذیرد. در ادامه برمبنای نتایج حاصل شده از روند محاسبات، وزن تأثیرگذاری شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مدنظر تعیین گردید. جدول ۵ نمایی از وزن‌های تخصیص داده شده به معیارهای مدنظر به تفکیک ذینفعان را نشان می‌دهد. این وزن‌ها در واقع مرحله‌ای از روند کلی محاسبه وزن نهایی ذینفعان هستند که برمبنای ماتریس‌های مقایسات زوجی انجام شده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی تعیین شده‌اند.

در نهایت، وزن تأثیرگذاری دشت‌های نیشابور، سبزوار و عطائیه برمبنای محاسبات روش تحلیل سلسله‌مراتبی و وزن‌های تأثیرگذاری معیارهای موردنظر در جدول ۳ به ترتیب ۵۴ درصد، ۳۵ درصد و ۱۱ درصد تعیین شد.

۳-۲- نتایج بازتخصیص با استفاده از روش‌های نظریه ورشکستگی

در گام دوم، ضمن بکارگیری وزن‌های تعیین شده برای ذینفعان از مرحله قبل، با استفاده از روش های منتخب از نظریه ورشکستگی شامل روش تناسب وزن‌دار، روش مقید به سود یکسان وزن‌دار، روش مقید به ضرر یکسان وزن‌دار و روش مقید به ضرر یکسان وزن‌دار اصلاح شده، سهم هر ذینفع از بازتخصیص مقدار آب در دسترس تعیین شده که نتایج در جدول ۶ ارائه و در شکل ۴ نمایش داده شده‌اند.

Table 4- The resources from the stakeholders' contribution as recharge into the shared aquifer of Neyshabour-Ataiyeh-Sabzevar and their demands (MCM/year)

جدول ۴- منابع حاصل از مشارکت ذینفعان در تغذیه و مقدار حجم تقاضای آن‌ها از آبخوان مشترک نیشابور-عطائیه-سبزوار (میلیون‌متر مکعب در سال)

Type of contribution as the recharged resource (MCM/year)	Stakeholders			
	Neyshabour	Sabzevar	Ataiyeh	Total
Total groundwater resources	325.1	120.59	71.44	517.13
Total demands	715.35	264.37	126.47	1106.19

Table 5- The weights assigned to the indicators and sub-indicators by using the hierarchical analysis method

جدول ۵- مقادیر وزن‌های تخصیص داده شده به شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مدنظر با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی

indicators and sub-indicators	Agricultural			Drinking			Industrial		
	Area under cultivation	Agricultural productivity	agricultural development	water quality	Population growth	Infrastructure development	Industrial productivity	Industrial Development	Industrial employment
Neyshabour	0.67	0.50	0.53	0.50	0.48	0.52	0.60	0.62	0.61
Sabzevar	0.26	0.35	0.35	0.38	0.41	0.39	0.33	0.31	0.30
Atayieh	0.09	0.15	0.12	0.12	0.10	0.09	0.07	0.07	0.08

در جدول ۶ مقادیر بازتخصیص یافته به هر ذی‌نفع توسط پارامتر x_i نمایش داده شده و پارامتر d_i نیز مقدار حجم آب باقیمانده از حجم کل تقاضای هر ذینفع را پس از بازتخصیص نمایش می‌دهد. در شکل ۵ نیز مقدار درصد پوشش تقاضای هر یک از دشت‌های نیشابور، سبزوار و عطائیه به تفکیک روش‌های بکار رفته نمایش داده شده‌اند.

دشت نیشابور با سالانه ۷۱۵/۳۵ میلیون مترمکعب تقاضای آب در صدر رتبه‌بندی ذ ذینفعان از لحاظ میزان تقاضا بوده و همانطور که در نتایج جدول ۶ مشاهده می‌شود، روش مقید به ضرر یکسان وزن‌دار اصلاح شده بیشترین سهمیه حاصل از بازتخصیص را که سالانه ۵۱۷/۱۳ میلیون متر مکعب است و به معنای کل منابع دردسترس است به دشت نیشابور اختصاص می‌دهد. با توجه به ارجحیت ذینفع با میزان مشارکت بیشتر در تغذیه منبع آب مشترک در روند بازتخصیص توسط این روش، دشت نیشابور بیشترین مقدار سهمیه را در این روش دریافت می‌کند. مقدار همپوشانی این سهمیه برای دشت نیشابور در مقایسه با میزان تقاضای آن در حدود ۷۲/۲۹ درصد است. اختصاص کل منابع آب دردسترس به دشت نیشابور و صفر درنظرگرفتن مقدار سهمیه دشت‌های سبزوار و عطائیه توسط روش مقید به ضرر یکسان وزن‌دار اصلاح شده احتمالا به دو علت است: ۱- تفاوت زیاد میزان تقاضا و تغذیه‌ی آبخوان مشترک توسط دشت نیشابور نسبت به سایر ذینفعان، ۲- تفاوت تقریباً دو برابری کل تقاضاهای موجود نسبت به میزان کل منابع دردسترس. علاوه بر نکات فوق باید دقت داشت که روش MWCEL بر مبنای بیشترین سهم مشارکت در تغذیه آبخوان، تخصیص منابع را انجام داده که در نتیجه، دشت نیشابور که از هر دو منظرِ وزن ذینفع و نیز مشارکت در تغذیه آبخوان بالاترین رتبه را داراست تمام سهم منبع مشترک را به خود اختصاص داده و بالعکس دشت‌های سبزوار و به خصوص عطائیه که نسبت به دشت نیشابور در وضعیت نامناسب‌تری از این لحاظ قرار دارند، تخصیص آن‌ها صفر می‌شود.

Table 6- Reallocation of riparian states on the Neyshabour-Sabzevar-Atayieh shared aquifer by means of bankruptcy theory methods

جدول ۶- مقادیر بازتخصیص یافته به ذینفعان آبخوان مشترک نیشابور-سبزوار-عطائیه با استفاده از روش‌های نظریه ورشکستگی

Riparians	Reallocated water to each riparians state (MCM/y)							
	WPRO		WCEA		WCEL		MWCEL	
	x_{iWPRO}	d_{iWPRO}	x_{iWCEA}	d_{iWCEA}	x_{iWCEL}	d_{iWCEL}	x_{iMWCEL}	d_{iMWCEL}
Neyshabour	394.77	320.58	279.25	436.1	397.26	320.68	517.13	198.22
Sabzevar	104.52	159.85	181	88.37	58.2	205	0	264.37
Atayieh	17.85	108.62	56.88	69.59	61.67	64.1	0	126.47

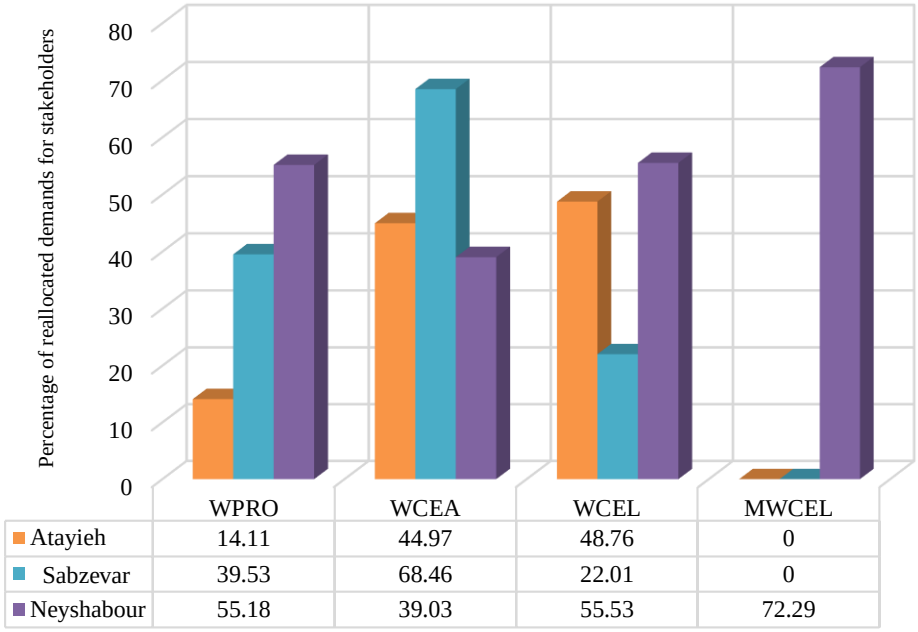


Fig. 4- Comparison of reallocated water to each reparian stakeholder based on the bankruptcy methods

شکل ۴- مقایسه درصد تقاضای برآورده شده هر دشت از بازتخصیص براساس روش‌های ورشکستگی

دشت سبزوار نیز مطابق جدول ۴ با تقاضای سالانه ۲۶۴/۳۷ میلیون مترمکعب سالانه در رتبه دوم میزان تقاضا در بین ذینفعان بوده و روش مقید به سود یکسان وزن‌دار با مقدار سهمیه حاصل از بازتخصیص سالانه ۱۸۱ میلیون مترمکعب سالانه، بیشترین مقدار سهمیه را برای این دشت درنظرگرفته است. براساس رویکرد این روش در محاسبات بازتخصیص منابع بین ذینفعان ، که اولویت بازتخصیص را به ذینفعان با تقاضای کمتر می‌دهد، این مقدار سهمیه برای این دشت نسبت به روش‌های دیگر بیشتر است. بنابراین در بهترین حالت از روش‌های موجود، روش مقید به سود یکسان وزن‌دار می‌تواند ۶۸/۴۶ درصد از تقاضای دشت سبزوار را پاسخگو باشد. برای دشت عطائیه نیز روش مقید به سود یکسان وزن‌دار با سهمیه حاصل از بازتخصیص سالانه ۵۶/۸۸ میلیون مترمکعب، بیشترین مقدار سهمیه را برای این دشت درنظر گرفته و سایر روش‌ها مقدار سهمیه کمتری اختصاص می‌دهند. دشت عطائیه با این میزان سهمیه، می‌تواند حدود ۴۴/۹۷ درصد از تقاضای خود را پوشش دهد.

۳-۳- نتایج انتخاب روش برگزیده

نتایج سه شاخص اکثریت آرا، قدرت و پایداری تخصیص ورشکستگی که در تحقیق حاضر جهت انتخاب روش برگزیده به کار گرفته شدند برای هر کدام از روش‌های بازتخصیص نظریه ورشکستگی در شکل ۶ نشان داده شده‌اند.

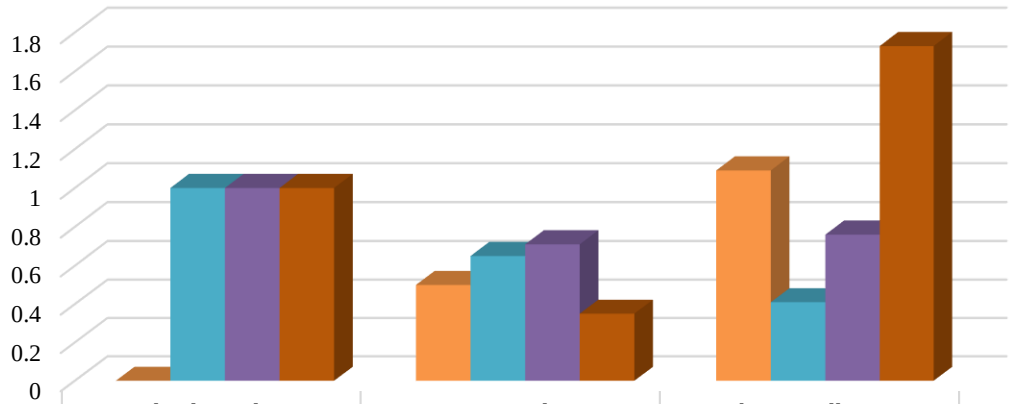
بر اساس نتایج قسمت قبل (بخش۳-۲)، دشت‌های نیشابور، سبزوار و عطائیه به ترتیب روش‌های MWCEL، WCEA و WCEL را به عنوان روش اعمالی برای بازتخصیص منابع آبخوان مشترک انتخاب می‌کنند. در نتیجه با توجه به عدم انتخاب هیچ روشی با اکثریت آرای ذینفعان، شاخص اکثریت آرا برای انتخاب روش برگزیده از مجموعه روش‌های بکار رفته در اینجا کارایی نداشته و طبق شکل ۵ هر سه روش عدد یکسان یک را حائز هستند. نتایج حاصل از کاربرد روش شاخص قدرت نشان می‌دهد که روش‌های (PRO)، (WCEA)، (WCEL) و (MWCEL)، به ترتیب دارای مقدار شاخص پایداری ۰/۵، ۰/۹۵، ۰/۷۱ و ۰/۳۵ هستند. با توجه به مقادیر نشان داده شده در شکل ۵، روش مقید به ضرر یکسان وزن‌دار اصلاح شده، به عنوان روش برگزیده براساس شاخص پایداری تعیین می‌شود. مطابق جدول ۶، این روش کل منابع دردسترس یعنی ۵۱۷/۱۳ میلیون مترمکعب منابع را در اختیار نیشابور قرار داده و هیچ سهمیه‌ای برای سبزوار و عطائیه درنظر نمی‌گیرد. بر این مبنا، پذیرش روش مقید به ضرر یکسان وزن‌دار اصلاح شده، به عنوان روش برگزیده بازتخصیص از دیدگاه دو

ذینفع سبزوار و عطائیه احتمالاً با مشکل مواجه خواهد شد. چنین تناقضی که حاصل از تقابل روش برگزیده شده براساس شاخص قدرت و احتمالا عدم رضایت به همکاری دو ذی‌نفع سبزوار وعطائیه است می‌تواند به دو دلیل عمده مرتبط باشد: ۱) تفاوت بسیار زیاد مقدار تقاضا و تغذیه آبخوان توسط ذینفع نیشابور نسبت به سایر ذینفعان در این پژوهش؛ ۲) وابستگی مستقیم محاسبات شاخص قدرت به مقدار تفاضل تقاضا و سهمیه تخصیص داده شده به ذینفع که باعث اثرگذاری مستقیم عدم توازن عادلانه نسبی قدرت ذینفعان بر نتایج و خروجی محاسبات شاخص قدرت است.

نتایج حاصل از کاربرد روش شاخص پایداری تخصیص ورشکستگی مقدار این شاخص را برای روش‌های مقید به سود یکسان وزن‌دار، مقید به ضرر یکسان وزن‌دار، تناسب وزن‌دار و مقید به ضرر یکسان وزن‌دار اصلاح شده، به ترتیب ۰/۴۱، ۰/۷۶، ۱/۰۹ و ۱/۷۳ نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۵، روش مقید به سود یکسان وزن‌دار کمترین مقدار شاخص پایداری تخصیص ورشکستگی ۰/۴۱ را در بین سایر روش‌ها به خود اختصاص داده و بنابراین به عنوان پایدارترین روش برای حصول حداکثر تمایل به همکاری ذینفعان از مجموعه روش‌های بکار رفته شناخته می‌شود. از طرفی، روش مقید به ضرر یکسان وزن‌دار اصلاح شده نیز با مقدار شاخص پایداری تخصیص ورشکستگی ۱/۷۳، به عنوان ناپایدارترین روش برای بازتخصیص منابع آبخوان مشترک شناخته می‌شود.

با توجه به نتایج حاصل از شاخص‌ها، نتیجه حاصل از شاخص پایداری تخصیص ورشکستگی قابل دفاع و کاربرد بوده و لذا روش WCEA به عنوان روش برگزیده در تحقیق حاضر جهت بازتخصیص منابع آبی آبخوان مشترک مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به انتخاب روش WCEA به عنوان روش برگزیده بازتخصیص، براساس شکل ۶ جهت حفظ موقعیت تراز آب آبخوان در شرایط ورشکستگی، دشت‌های نیشابور، سبزوار و عطائیه باید تقریبا به ترتیب ۶۱، ۳۱/۵ و ۵۵ درصد از حجم آب برداشتی خود در وضعیت فعلی را کاهش دهند.

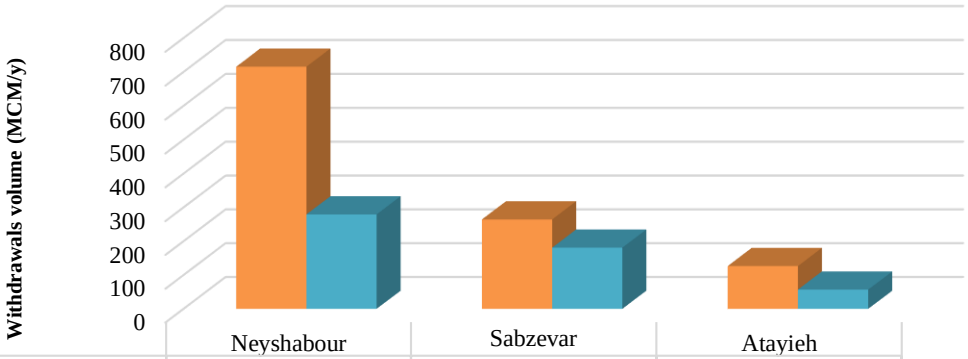
برمبنای شکل ۶ بیشترین کسری برداشت از بین ذی‌نفعان بر دشت نیشابور تحمیل خواهد شد و این امر به دلیل تقابل تعریف رویکرد روش WCEA و میزان حجم برداشت حال حاضر این دشت می‌باشد. به بیانی دیگر، براساس رویکرد روش WCEA که روش برگزیده شده از بین روش‌های مورد استفاده بوده، ذینفعان با تقاضای برداشت کمتر در اولویت دریافت سهمیه بازتخصیص بیشتری هستند. بنابراین با توجه به میزان حجم برداشت حال حاضر دشت نیشابور، این ذینفع نسبت به سایر ذینفعان باید صرفه‌جویی بیشتری در برداشت از آبخوان مشترک داشته باشد.



	Plurality index	Power index	Bankruptcy allocation stability index
WPRO	0	0.5	1.09
WCEA	1	0.65	0.41
WCEL	1	0.71	0.76
MWCEL	1	0.35	1.73

Fig. 5- Comparison of decision stability indexes for each of the applied bankruptcy methods

شکل ۵- مقایسه نتایج شاخص‌های پایداری تصمیم برای هر کدام از روش‌های بازتخصیص نظریه ورشکستگی



	Neyshabour	Sabzevar	Atayieh
Current withdrawals	715.35	264.37	126.47
Allowable withdrawals	279.25	181	56.88

Fig. 6- Comparison of current and allowed withdrawals

شکل ۶- مقایسه حجم برداشت‌های حال حاضر و برداشت‌های مجاز ذینفعان

با مقایسه نتایج بدست آمده از کاربرد روش‌های نام برده شده از رویکرد ورشکستگی در بازتخصیص منابع آبخوان مشترک و میزان برداشت‌های حال حاضر ذینفعان از آبخوان مشترک، این واقعیت محرز می‌شود که وضعیت تناسب میزان منابع آبخوان مشترک و میزان تقاضاهای ذینفعان از آن بحرانی بوده و در صورت تداوم برداشت‌های حال حاضر، وضعیت منابع آبخوان مشترک به مرور وخامت بیشتری می‌یابد که باعث تشدید مشکلات متعدد مرتبط با آن می‌شود. بنابراین لزوم بازنگری در برنامه‌های برداشت و تغذیه آبخوان مشترک توسط ذینفعان می‌تواند از بحران‌های متعدد جلوگیری به عمل آورده و چه بسا در آینده نسبت به افزایش تراز آب آبخوان مشترک نیز اقدام شود.

۴- خلاصه و جمع‌بندی

افزایش تقاضا برای بهره‌برداری از منابع محدود مشترک آبخوان از یکسو و از سوی دیگر کسری قابل اعتنا منابع آبی نسبت به تقاضاهای موجود از آبخوان‌های مشترک در کشور ایران علی الخصوص مناطق خشک و نیمه‌خشک استان خراسان مانند دشت‌های نیشابور، سبزوار و عطائیه، اهمیت حساسیت نسبت به این آبخوان‌ها که بخش قابل توجهی از ابعاد مختلف زندگی جوامع ساکن در این مناطق بر آن تکیه دارد، کاملاً مشهود است. در چنین منابع آب مشترکی که شرایط ورشکستگی بر آن‌ها حاکم است، استفاده از رویکردهای ورشکستگی می‌توانند تخصیص عادلانه نسبی برای اقناع تمام ذینفعان را میسر کنند. در این راستا در پژوهش حاضر روش‌های WPRO، WCEA، WCEL و MWCEL از رویکرد ورشکستگی در بازتخصیص منابع آبخوان مشترک بین سه محدوده مطالعاتی نیشابور، سبزوار و عطائیه بکار گرفته شدند. بدین منظور ابتدا با فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، وزن دشت‌های نیشابور، سبزوار و عطائیه براساس معیارهای کشاورزی، شرب و صنعت و همچنین شاخص‌های مرتبط با هر معیار بالاسری به ترتیب برابر ۰/۵۴، ۰/۳۵ و ۰/۱۱ تعیین شد که در روابط رویکرد ورشکستگی مورد استفاده قرار گرفتند. در ادامه، میزان سهمیه هر ذینفع از مقدار منابع آب دردسترس از آبخوان مشترک توسط روش‌های مختلف ورشکستگی تعیین شد. برای انتخاب روش برگزیده از میان مجموعه روش‌های بکار رفته، سه شاخص اکثریت آرا، شاخص قدرت و شاخص پایداری تخصیص ورشکستگی بر روی نتایج روش‌ها پیاده‌سازی شد.

مطابق نتایج کاربرد این شاخص، هر کدام از ذینفعان یک روش را به عنوان روش برگزیده انتخاب نمودند و خروجی واحدی تحت عنوان روش برگزیده با استفاده از این شاخص حاصل نشد. در ادامه روش شاخص قدرت مورد بررسی قرار گرفت که با توجه به نتایج حاصل از کاربرد این شاخص، روش برگزیده به دو ذینفع سبزوار و عطائیه هیچگونه سهمیه‌ای اختصاص نداده و تمام منابع دردسترس را به نیشابور اختصاص می‌دهد. بنابراین نتایج کاربرد روش شاخص قدرت در این مورد نیز حائز اعتبار تشخیص داده نشد. در نهایت برای انتخاب روش بازتخصیص برگزیده از روش شاخص پایداری تخصیص ورشکستگی استفاده شد. بر اساس نتایج کاربرد این روش، روش مقید به سود یکسان وزن‌دار به عنوان پایدارترین روش بازتخصیص منابع دردسترس میان ذینفعان برگزیده شد. بر اساس این روش، دشت نیشابور ۳۹/۰۳ درصد، دشت سبزوار ۶۸/۴۶ درصد و دشت عطائیه ۴۴/۹۷ درصد از کل مقدار تقاضای خود را دریافت می‌کنند.

در ادامه این پژوهش، پیشنهاد می‌شود با توجه به اختلاف قابل‌ملاحظه بین منابع و تقاضاهای آبی و اهمیت ویژه شرایط ورشکستگی در منابع آبخوان‌های مشترک در مقایسه با منابع آب سطحی مشترک به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک، در استفاده از روش‌های نظریه ورشکستگی در بازتخصیص منابع آب زیرزمینی به صورت امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر تدقیق شود. علاوه بر این، به منظور لحاظ نمودن درجه اهمیت و تأثیرگذاری ذینفعان (وزن ذینفعان) در فرآیند بازتخصیص مبتنی بر نظریه ورشکستگی، پیشنهاد می‌شود این مورد بر مبنای میزان تأثیرگذاری هریک از ذینفعان در برخی موارد درنظر گرفته شود. مواردی همچون احیاء و تعادل‌بخشی منبع آبی آبخوان مشترک، تأمین اهداف توسعه پایدار اجتماعی–اقتصادی و زیست‌محیطی، مبتنی بر سایر معیارها نظیر تنش آبی، وابستگی به آبخوان، پایداری آبخوان، بهبود در راندمان آبیاری و الگوی کشت، مشارکت در حل تعارضات محتمل میان ذینفعان ، میزان پساب تصفیه‌شده به کل پساب تولیدی و سایر معیارهای توسعه پایدار علاوه بر آنچه در این پژوهش برای تعیین وزن ذینفعان مورداستفاده قرار گرفت لحاظ شده است. بدین ترتیب تخمین مناسبی از وزن ذینفعان مبتنی بر اجماع آنان انجام شود. مقایسه رویکرد ورشکستگی از مدل‌های همکارانه نظریه بازی‌ها با مدل‌های غیرهمکارانه این نظریه مانند روش نش غیرمتقارن و همچنین درنظر گرفتن عدم قطعیت‌های ناشی از اطلاعات و داده‌های آب زیرزمینی در خروجی نتایج روش‌های بازتخصیص، پیشنهادهای دیگری است که باید در تحقیقات آتی مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد. لازم به ذکر است این پژوهش می‌تواند علاوه بر بازتخصیص سایر منابع آبخوان‌های مشترک در سطح کشور و در بازتخصیص منابع آبخوان‌های فرامرزی مشترک بین کشورها نیز با لحاظ نمودن شرایط مرتبط با مسأله مربوطه مورد استفاده واقع شود.

۵- تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی اجرا شده به شماره قرارداد UTH:1398/04/2355 از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه تربت‌حیدریه است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین نویسندگان بر خود لازم دانسته از گروه‌های عمران و محیطزیست دانشگاه‌های تربت حیدریه، حکیم سبزواری، علم و صنعت نروژ و وسترن کانادا بابت حمایت از این کار پژوهشی و از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی بابت در اختیار دادن آمار و اطلاعات محدوده مطالعاتی قدردانی نمایند.

پی‌نوشت‌ها

1- Bankruptcy Theory
2- Game Theory
3- Proportional
4- Constrained Equal Awards
5- Constrained Equal Losses
6- Talmud Method
7- Piniles Method
8- Shapely Value
9- Proportional Sharing
10- Modified Constrained Equal Awards Method
11- Sequential Sharing Based on Proportional Sharing
12- Agents Bankruptcy to Protect Environment
13- Particle Swarm Optimization
14- Lorenz Curve
15- Gini Coefficient
16- Plurality Index
17- Analytic Hierarchy Process
18- The United Nations Development Programme
19- Analytic Hierarchy Process
20- Weighted Proportional
21- Weighted Constrained Equal Awards
22- Weighted Constrained Equal Losses
23- Modified Weighted Constrained Equal Losses
24- Plurality Index
25- Power Index
26- Bankruptcy Allocation Stability Index
27- Sustainable Yield
28- Safe Yield

۶- مراجع

Bozorg-Haddad O, Athari E, Fallah-Mehdipour E, and Loáiciga HA (2018) Real-time water allocation policies calculated with bankruptcy games and genetic programing. Water Science and Technology: Water Supply 18(2):430–449

Casas-méndez B, Fragnelli V, and García-jurado I (2011) Weighted bankruptcy rules and the museum pass problem. European Journal of Operational Research 215(1):161–168

Degefu DM and He W (2016) Allocating water under bankruptcy scenario. Water Resources Management 30(11):3949–3964

Ghavami B, Rathi S (2018) Comparison of the application of cooperative and non-cooperative approaches to game theory in order to resolve water resources disputes. Third National Conference on Conservation of Natural Resources and Environment (In Persian)

Iran Ministry of Energy (2017a) Water resources balance studies in scope of Kavir-Markazi basin Area. Fifth Volume: Evaluation of Water Resources, Year (2010). Appendix No. 38: Water Resources Report of Neyshabour Study Area (In Persian)

Iran Ministry of Energy (2017b) Water resources balance studies in scope of Kavir-Markazi basin Area. Fifth Volume: Evaluation of Water Resources, Year (2010). Appendix No. 35: Water Resources Report of Sabzevar Study Area (In Persian)

Iran Ministry of Energy (2017c) Water resources balance studies in scope of Kavir-Markazi basin Area. Fifth Volume: Evaluation of Water Resources, Year (2010). Appendix No. 36: Water Resources Report of Ataiyeh Study Area (In Persian)

Iranshahi M, Marofi S, and Nasiri-ghidari O (2021) Applying asymmetric nash bargaining method for optimal allocation of common water resources in bankruptcy conditions. Journal of Water and Sustainable Development 7(4):21-30 (In Persian)

Jalili Kamju SP and Khochiani R (2020) Application of the bankruptcy theory and conflicting claims on water resources allocation of Zayanderud. Journal of Economic Modeling Research 10(39):45–80 (In Persian)

Jamalomidi M and Moridi A (2020) Bankruptcy method in reducing groundwater resources conflicts and aquifer balancing (Case Study: Haji Abad Aquifer). Journal of Iran-Water Resources Research 16(4):1-14 (In Persian)

Janjua S and Hassan I (2020a) Transboundary water allocation in critical scarcity conditions: A stochastic bankruptcy approach. Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA 69(3):224–237

Janjua S and Hassan I (2020b) Use of bankruptcy methods for resolving interprovincial water conflicts over transboundary river: Case study of Indus River in Pakistan. River Research and Applications 36(7):1334–1344

Jolaie R, Amir-nejad H, and Mir-karimi Sh (2020) Combining the two methods of nucleation and indefinite bankruptcy in order to optimally allocate water: Cse study of Gorganrood-Qarasu basin. Journal of Agricultural Economics 13(4):105-126 (In Persian)

Kamju P and Khochiani R (2020) Application of the bankruptcy theory and conflicting claims on water resources allocation of Zayanderud. Quarterly Journal of Economic Modeling Research 10(39):45-80 (In Persian)

Li S, He Y, Chen X, and Zheng Y (2018) The improved bankruptcy method and its application in regional water resource allocation. Journal of Hydro-environment Research, 28:48–56

Madani K (2010) Game theory and water resources. Journal of Hydrology, ElsevierB.V.381(3–4):225–238

Madani K, Zarezadeh M, and Morid S (2014) A new framework for resolving conflicts over transboundary rivers using bankruptcy methods. Hydrology and Earth System Sciences 18(8):3055–3068

Mazandarani zade H, Ghaheri A, Abduli Gh (2008) Model of sustainable operation of the shared aquifer between urban and agricultural stakeholders by using game theory. Journal of Agricultural Economics and Development 68(17):77-102 (In Persian)

Mianabadi H, Mostert E, Zarghami M, & van de Giesen N C (2013) Transboundary water resources allocation using bankruptcy theory; Case study of Euphrates and Tigris Rivers. In The TWAM2013 International Conference & Workshops, Aveiro, Portugal (pp. 1-5). Available at: http://ibtwm.web.ua.pt/congress

Mianabadi H, Mostert E, Pande S, and van de Giesen N (2015) Weighted bankruptcy rules and transboundary water resources allocation. Water Resources Management 29(7):2303–2321

Mirshafee S, Ansari H, and Mianabadi H (2015) Bankruptcy methods in transboundary rivers allocation problems, Case study: (Atrak river).

Iranian Journal of Irrigation and Drainage 9(4):594-604 (In Persian)

Nafarzadegan A, Vagharfard H, Nikoo M, and Nohegar A (2019) Developing a multi-objective linear model for an optimal water allocation based on four bankruptcy rules and solve it through the fuzzy compromise approach. Watershed Management Research 32(3):95-110 (In Persian)

Oftadeh E and Shourian M (2016) Evaluation of the bankruptcy approach for water resources allocation conflict resolution at basin scale, Iran's Lake Urmia Experience. Water Resources Management 30:3519-3533

Raquel S, Ferenc S, Emery C, and Abraham R (2007) Application of game theory for a groundwater conflict in Mexico. Journal of Environmental Management 84(4):560-571

Rightnar J and Dinar A (2020) The welfare implications of bankruptcy allocation of the Colorado River Water: The Case of the Salton Sea Region. Water Resources Management 34(8):2353–2370

Roghani B, Fereshtehpour M, Olyaie M (2020) Hydropolitics of transboundary aquifers: Towards practical cooperation. Geopolitics Quarterly 16(58):187-216

Rudestam K and Langridge R (2013) Sustainable yield in theory and practic: Bridging scientific and mainstream vernacular. Groundwater 52(S1):90-99

Sadat M, Shourian M, and Moridi A (2018) Reallocation of water resources in transboundary river basins using the bankruptcy approach. Journal of Soil and Water Research 50(5):1141-1151

Sakhdari H and Ziyaei S (2018) Khorasan Razavi agricultural development priorities: A hierarchical analysis approach (AHP). Agricultural Economics Research 10(1):207-224 (In Persian)

Sobhanyieh Z (2014) Allocation of surface water resources using multi-objective decision criteria and game theory. Master Thesis, registration number:6686

Taiebzade-Moghadam N, Malek-Mohamadi B, (2020) Application of bankruptcy theory methods in equitable allocation of water resources in reducing environmental disputes (Case Study: Urmia Lake Basin). Journal of Water Resources Engineering 13(1):95-104 (In Persian)

Javidi Sabbaghian R, and Nejadhashemi AP (2020) Developing a risk-based consensus-based decision-support system model for selection of the desirable urban water strategy: Kashafroud Watershed study. Water 12(5):1305-1338

Tian J, Yu Y, Li T, Zhou Y, Li J, Wang X, and Han Y (2021) A cooperative game model with bankruptcy theory for water allocation: A case study in Tarim River Basin. Environmental Science and Pollution Research 29(2):2353-2364

Wickramage HM, Roberts DC, and Hearne RR (2020) Water allocation using the bankruptcy model: A Case Study of the Missouri River. Water 12(3):619

Yazdian M, Rakhshandehroo G, and Reza M (2021) Groundwater sustainability: Developing a non-cooperative optimal management scenario in shared groundwater resources under water bankruptcy conditions. Journal of Environmental Management 292:112807

Yuan L, He W, Liao Z, Degefu DM, An M, Zhang Z and Wu X (2019) Allocating water in the Mekong River basin during the dry season. Water (Switzerland) 11(2):400

Zarezadeh M, Madani K, & Morid S (2013) Resolving conflicts over trans-boundary rivers using bankruptcy methods. Hydrology & Earth System Sciences Discussions 10(11)

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 2012: Crossing Boundaries, Proceedings of the 2012 Congress 2406–2412

Zeng Y, Li J, Cai Y and Tan Q (2017) Equitable and reasonable freshwater allocation based on a multi-criteria decision making approach with hydrologically constrained bankruptcy rules. Ecological Indicators, Elsevier Ltd 73:203–213

Zheng Y, Liu Z, Corporation G, Zhang S, Liu P and Corporation G (2022) Water allocation management under scarcity: A bankruptcy approach water allocation management under scarcity: A Bankruptcy Approach. Water Resources Management 36(9):2891-2912