



Developing Uncertain Bankruptcy Models for Fair Extraction of Underground Water in Damghan Plain, Iran

S. Sabri^{1*} and M. Zarghami²

Abstract

In recent decades, increasing population and the consequent intensified water demand have led to exploitation of groundwater resources. Lack of water along with improper management raise conflicts between its stakeholders in most of which often the amount of water demand by the stakeholders exceeds the amount of available water. Therefore, the management of underground water and withdrawals should be such that in addition to meeting the needs of consumers in a fair manner, it takes into account the stability of the aquifer. For this purpose, bankruptcy theory, which is one of the cooperative game theory approaches, has been used to allocate water among the Stakeholders. Bankruptcy methods include Proportional bankruptcy (P), Constrained Equal Award bankruptcy (CEA), Constrained Equal Loss bankruptcy (CEL), Talmud (TAL), Piniles (PIN), and Adjusted Proportional bankruptcy (AP). The study area for this research is Damghan plain at the Semnan province. The annual water requirement of this region is about 110 million cubic meters and the annual water withdrawal from the aquifer is about 87 million cubic meters. In this study, 10 stakeholder regions from the agriculture, urban and industry sections are considered. The results obtained from bankruptcy proceedings have been valued by the indicators of majority voting, stability in behavior, and groundwater level taking into account uncertainty, and the integration of previous indicators. According to the results, the CEL method is selected as the best method with stability in the same behavior (level of satisfaction) among stakeholders, higher groundwater level and the highest β index.

Keywords: Groundwater Management, Bankruptcy Methods, Uncertainty, Damghan Plain.

Received: March 11, 2023

Accepted: July 9, 2023

توسعه مدل‌های ورشکستگی غیرقطعی جهت برداشت عادلانه آب زیرزمینی دشت دامغان

سمانه صبری^{۱*} و مهدی زرغامی^۲

چکیده

در دهه‌های گذشته رشد روزافزون جمعیت، سپس افزایش تقاضای آب موجب برداشت بیش از حد آب به ویژه از منابع آب زیرزمینی شده است. کمبود آب به همراه عدم مدیریت مناسب آن باعث ایجاد مشکلات و اختلافات بین ذینفعان می‌شود که در اکثر این تنش‌ها، اغلب موارد مقدار نیاز و تقاضای آب ذینفعان یک حوضه آبریز از میزان آب در دسترس بیشتر است. لذا مدیریت آب زیرزمینی و برداشت‌ها باید طوری باشد که علاوه بر رفع نیاز مصرف کنندگان به صورت عادلانه، پایداری آبخوان نیز مورد توجه قرار گیرد. به همین منظور از نظریه ورشکستگی که یکی از رویکردهای تئوری بازی همکارانه است، جهت تخصیص آب بین ذینفعان استفاده شده است. روش‌های ورشکستگی شامل ورشکستگی نسبی (P)، ورشکستگی مقید به سود یکسان (CEA)، ورشکستگی مقید به ضرر یکسان (CEL)، تالمود (TAL)، پینایل (PIN) و ورشکستگی نسبی تعدیل شده (AP) است. منطقه مورد مطالعه دشت دامغان در استان سمنان است. نیاز آبی سالانه این منطقه حدود ۱۱۰ میلیون متر مکعب و برداشت سالانه آب از سفره آب زیرزمینی حدود ۸۷ میلیون متر مکعب است. در این مطالعه ۱۰ ذینفع از بخش‌های کشاورزی، صنعتی و شرب در نظر گرفته شده است. نتایج بدست آمده توسط شاخص‌های ارزیابی اکثریت آراء، پایداری در رفتار و تراز آب زیرزمینی با در نظر گرفتن عدم قطعیت و ادغام شاخص‌های قبل به عنوان نوآوری مقاله، بررسی شده است. طبق نتایج بدست آمده روش CEL با پایداری در رفتار (سطح رضایت) یکسان در بین ذینفعان، تراز آب زیرزمینی بالا و بالاترین شاخص β بهترین روش انتخاب می‌شود. در نهایت استفاده از این روش به تعدیل منصفانه پروانه‌های برداشت آب زیرزمینی دشت دامغان کمک می‌کند.

کلمات کلیدی: مدیریت آب زیرزمینی، ورشکستگی، عدم قطعیت، دشت دامغان.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۴/۱۸

1- M.Sc. Graduated, Water Resources Engineering, Department of Civil Engineering, University of Tabriz, Iran. Email: samanehsabri1994@gmail.com
2- Professor, Faculty of Governance, University of Tehran, Tehran, Iran.

*- Corresponding Author

Dor: [20.1001.1.17352347.1402.19.3.7.6](https://doi.org/10.1001.1.17352347.1402.19.3.7.6)

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مدیریت و منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، ایران.

۲- عضو هیات علمی دانشکده حکمرانی دانشگاه تهران.

*- نویسنده مسئول

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



۱- مقدمه

استفاده از منابع آب زیرزمینی باید برداشت محدود، منصفانه، عادلانه، اقتصادی و همراه با پایش از آن‌ها باشد. ذینفعان مختلفی چون کشاورزان، صنعتگران و محیط‌زیست و غیره در سطح آب‌های زیرزمینی تأثیرگذارند که مصرف عمده آب توسط کشاورزان صورت می‌گیرد. از آنجا که برداشت آب به‌طور قابل توجهی از توانایی سفره‌های آب، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها بیشتر شده است، منابع آبی کشور رو به ورشکستگی است. ورشکستگی منابع آب باعث درگیری بین ذینفعان است، که بسیاری از آن‌ها یا به‌حق خود راضی نیستند یا شرایط واقعی آب و خشک شدن سرزمین را درک نکرده‌اند و بر روش‌های سودجویانه خود اصرار دارند. روش‌های تحلیلی ممکن است در موارد خاص برای تعیین مفاهیم، منصفانه و مفید باشند. هرچه ویژگی‌های بیشتری از تخصیص منصفانه در نظر گرفته شود، شناس بیشتر برای اینکه توسط ذینفعان و سیاست‌گذاران مورد قبول واقع شود، وجود دارد و در عمل باعث حل اختلافات خواهد شد (Mianabadi et al., 2014).

تئوری بازی‌ها^۱ روشی مناسب برای تعیین و تشخیص رفتار بخش‌های مختلف منابع آب، هنگام مواجهه با مشکل کمبود و توصیف چگونگی روابط بین آن‌هاست. شاخه نظریه بازی‌ها توسط Neumann and Morgenstern (2007) با ارائه کتاب *Theory of Games and Economic Behavior* (نظریه بازی و رفتار اقتصادی)، در سال ۱۹۹۴ پایه‌گذاری شد. تئوری بازی‌ها زیرمجموعه‌ای از علم ریاضیات است؛ که به دو شاخه همکارانه^۲ و غیرهمکارانه^۳ تقسیم می‌شود. نظریه بازی‌های غیرهمکارانه در موقعیت‌هایی که بازیکنان به صورت مستقل تصمیم‌گیری می‌کنند، ایجاد خواهد شد. در حالی که در نظریه بازی‌های همکارانه، تصمیمات در قالب گروه‌ها شکل می‌گیرد (Madani, 2010). Loáiciga (2004) از تئوری بازی‌ها، روش همکارانه و غیرهمکارانه در پایداری در برداشت آب‌های زیرزمینی آمریکا استفاده کرده است؛ که نشان داد عدم همکاری منجر به اضافه برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود که نوعی استخراج غیرپایدار از آبخوان است. Banihabib et al. (2018) به ارزیابی روش‌های همکارانه (نظریه ورشکستگی نسبی) و غیر همکارانه نظریه بازی‌ها برای بررسی شرایط تأمین حقایق زیست محیطی تالاب هورالهوریه در سناریوهای مختلف تخصیص بین سه کشور ایران، عراق و ترکیه پرداختند. روش ورشکستگی زیرمجموعه تئوری بازی‌های همکارانه، یکی از روش‌های تحلیلی شناخته شده‌ای است که می‌تواند برای مدیریت اختلاف در مسائل تخصیص منابع آب استفاده شود. Bosmans and Lauwers (2011) از مجموعه‌ای از قوانین ورشکستگی از جمله روش

ورشکستگی نسبی^۴ (P)، ورشکستگی مقید به سود یکسان^۵ (CEA)، ورشکستگی مقید به ضرر یکسان^۶ (CEL)، تالمود^۷ (TAL)، پینایل^۸ (PIN)، نسبی تعدیل شده^۹ (AP) و چند روش دیگر برای قضاوت دعاوی استفاده کرده‌اند. (Madani and Zarezadeh 2012) کاربرد تئوری ورشکستگی را در حل اختلاف بین سه کشاورز بر سر چاه آب فرضی نشان داده‌اند. در این مطالعه از ۶ روش ورشکستگی P، AP، CEL، CEA، TAL و PIN جهت حل مشکل استفاده کرده‌اند؛ اما ذینفعان ممکن است روشی را به روش دیگر ترجیح دهند و این باعث اختلاف نیز می‌شود. به همین دلیل از یک روش ارزیابی اکثریت آراء، که یکی از روش‌های ساده جهت تعیین مقبولیت طرح‌های تخصیص است، استفاده کرده‌اند. Jamalomidi and Moridi (2020) مدل جریان آب زیرزمینی توسط نرم‌افزار MODFLOW برای آبخوان حاجی‌آباد استان هرمزگان شبیه‌سازی کرده و سپس توسط روش‌های ورشکستگی مقادیر جدید برداشت آبخوان محاسبه و نتایج آن با وضع موجود مقایسه کرده‌اند. در این مطالعه نیز توسط شاخص ارزیابی پایداری در رفتار روش‌های ورشکستگی مقایسه شده‌اند. در نهایت روش CEA به علت شاخص ارزیابی بالا و حفظ بیشتر پایداری آبخوان روش مناسبی انتخاب شد. Kardan Moghddam et al. (2022) یک مدل بازی غیرهمکارانه برای رسیدگی به تضادهای بین کشاورزان و مدیران آب، کاهش استرس در یک سفره آب در منطقه خشک با استفاده از معیارهای توسعه پایدار (ابعاد زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی) ایجاد کرده‌اند. کاهش برداشت آب زیرزمینی، بهبود سیستم تغذیه مصنوعی، بهینه‌سازی الگوی کشت و ترکیب این استراتژی‌ها در دو منطقه با و بدون انگیزه مالی برای کشاورزان با استفاده از یک بازی غیرهمکاری برای احیای آبخوان مورد ارزیابی قرار گرفت. تحلیل حساسیت مدل بازی توسعه‌یافته نشان داد که با افزایش قدرت مدیران منابع آب، استراتژی‌های کاهش برداشت آب زیرزمینی به نقطه تعادل برای حل تعارض تبدیل می‌شوند. Sheikhmohammady and Madani (2008)، Mianabadi et al. (2014) و Ansink and Marchiori (2011) و Jiahe Tian et al. (2022) نیز در پژوهش‌های خود از روش‌های ورشکستگی برای حل اختلافات آبی استفاده کرده‌اند.

بررسی سابقه مطالعات نشان داده است که رویکرد ورشکستگی می‌تواند به عنوان یک راه‌حل برای حل مشکلات منابع آبی باشد. این روش به عنوان یکی از زیرشاخه‌های تئوری بازی‌ها، تنها در تعدادی از مطالعات در زمینه مسائل مربوط به آب مورد استفاده قرار گرفته است؛ در صورتی که یکی از موارد پرکاربرد این روش در تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی است. بر اساس اطلاعات بدست آمده، دشت دامغان در

۲- منطقه مورد مطالعه

شهر دامغان با جمعیتی حدود ۵۹۰۰۰ نفر، شهری کوچک که در فاصله ۶۰ کیلومتری غرب شاهرود و ۱۲۰ کیلومتری شرق سمنان واقع شده است. مساحت شهرستان دامغان حدود ۱۳۰۰۰ کیلومترمربع است که سه دشت دامغان، کویر حاج علی‌قلی (کویر چاه جم) و دشت یزدان‌آباد (سر کویر) را در بر گرفته است. مختصات جغرافیایی محدوده مطالعاتی دامغان ۲۳°: ۵۳' تا ۲۲°: ۵۴' طول شرقی و ۳۵°: ۳۱' تا ۳۶°: ۳۱' عرض شمالی است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی استان سمنان، شهر دامغان، آبخوان و چاه‌های موجود را نشان می‌دهد. آبخوان دشت دامغان از نوع آزاد و تحت فشار است با وسعتی حدود ۱۳۳۸ کیلومتر مربع که حدود ۶۶ درصد کل دشت را دربر می‌گیرد. با توجه به قرارگیری دشت دامغان در بخش خشک و نیمه‌خشک کشور و با بارش اندک (به طور متوسط ۱۰۸ میلی‌متر در سال)، این دشت از نظر منابع آب سطحی فقیر بوده و بخش اعظم نیازهای آبی منطقه از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود.

استان سمنان، نیاز آبی سالانه حدود ۱۱۰ میلیون متر مکعب و برداشت سالانه آب از سفره آب زیرزمینی حدود ۸۷ میلیون متر مکعب دارد. بر اساس این روش، سیستم منابع آب زیرزمینی دشت دامغان به دلیل افزایش نیاز نسبت به تقاضا ورشکسته تلقی می‌شود و این ورشکستگی باعث نزاع و اختلاف بین ذینفعان این منطقه می‌شود. این ضرر و زیان باید بین ذینفعان تقسیم گردد و در نهایت با این رویکرد بتوان تعدیل منصفانه پروانه‌های برداشت آب زیرزمینی انجام شود. در این مقاله برای نخستین بار کاربرد روش ورشکستگی در برنامه‌ریزی جهت تعدیل پروانه‌های بهره‌برداری از چاه‌ها، به عنوان یکی از اقدامات مهم در طرح تعادل بخشی آبخوان‌ها، مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین، در این مقاله روش ارزیابی جدید، به عنوان شاخص β جهت بررسی روش‌های ورشکستگی به عنوان نوآوری مقاله استفاده شده است. در این مقاله در بخش ۲ منطقه مورد مطالعه بررسی شده است و بخش ۳ مواد و روش‌های اعمال شده به منطقه مورد مطالعه است. همچنین، بخش ۴ و ۵ به بررسی نتایج می‌پردازد.

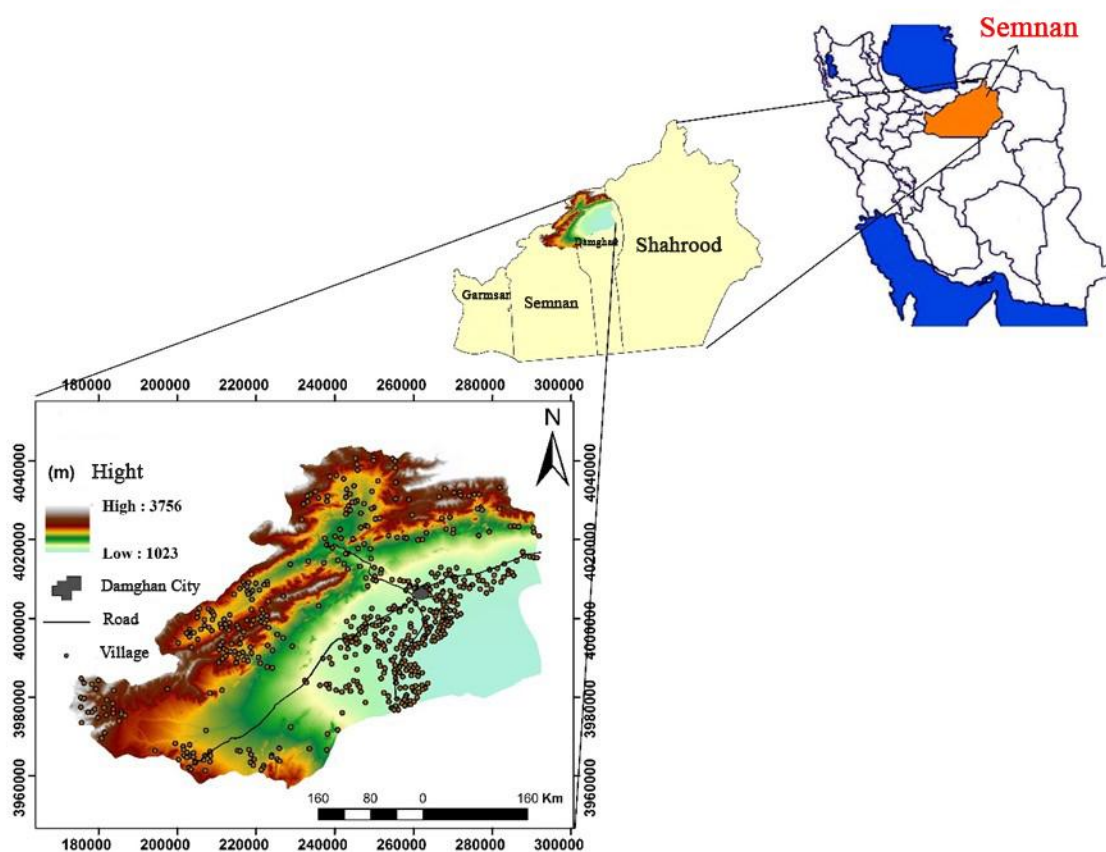


Fig. 1- Geographical location of the study area (Zarghami et al., 2020)

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (Zarghami et al., 2020)

جدول ۱ مقدار نام مناطق تقسیم‌بندی شده، برداشت از چاه‌های آبخوان با توجه به اطلاعات گرفته شده از آب منطقه‌ای و نیاز آبی هر منطقه را در واحد میلیون متر مکعب نشان می‌دهد. دو مصرف‌کننده صنعت و شرب به ترتیب عنوان ذینفع‌های شماره ۹ و ۱۰ در آبخوان هستند. با توجه به این جدول آبخوان دشت دامغان با کسری حدود ۲۳ میلیون مواجه است که این کسری باید طبق روش‌های ورشکستگی به صورت عادلانه بین ذینفعان تقسیم شود.

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- تئوری ورشکستگی

شکست زمانی در یک سیستم آبی رخ می‌دهد که دارایی سیستم جوابگوی تقاضای ذینفعان نباشد که این شکست همانند ورشکستگی در سیستم اقتصادی است. یکی از روش‌های تحلیلی که می‌تواند برای مدیریت اختلاف در مسائل تخصیص منابع آب استفاده شود، روش‌های حل ورشکستگی است. هدف این روش توزیع سرمایه (E) زمانی که نیازهای ذینفعان (C) تأمین نشود، است.

بر اساس اطلاعات آماربرداری سال ۱۳۸۸، از این آبخوان سالانه حجم آبی معادل ۱۷۸ میلیون مترمکعب توسط ۱۳۰۵ حلقه چاه مجاز، ۴۱ حلقه چاه غیر مجاز، ۱۰۰ رشته قنات و ۴۱۲ دهنه چشمه تخلیه می‌شود؛ که از این میزان حجم آب با توجه به اطلاعات برگرفته شده از آب منطقه‌ای استان سمنان ۷۹ درصد برداشت از آب چاه‌های مجاز در محدوده مورد مطالعه مربوط به بخش کشاورزی، ۱۳ درصد جهت شرب و ۸ درصد برای مصارف صنعتی است. بر اساس اطلاعات موجود از نتایج بررسی‌های ژئوفیزیک، نتایج حفاری چاه‌های اکتشافی و مشاهده‌ای، آبخوان دشت دامغان از نوع آزاد و تحت فشار است که توأماً تشکیل شده است شکل ۲ نقشه منابع آبی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همچنین، طبق نتایج بدست آمده توسط تصاویر ماهواره‌ای سطح زیر کشت کل منطقه ۱۲۴۷۷ هکتار است. جهت سهولت محاسبات آبخوان به ۸ بخش مجزا طبق تراکم و آبادی‌ها توسط نرم‌افزار GIS تقسیم‌بندی شده است. شکل ۳ آبخوان دشت دامغان به همراه مناطق تقسیم‌بندی شده نشان داده است. نقاط نشان داده شده در شکل ۳ نیز زیر مجموع چاه‌های هر آبادی است.

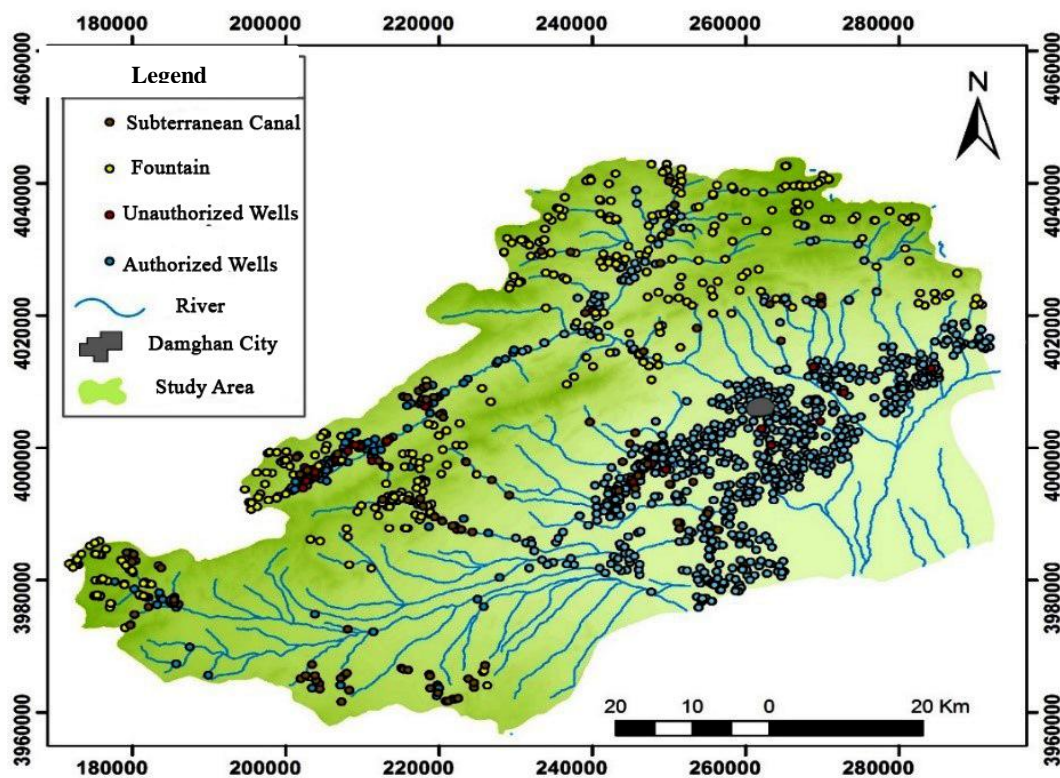


Fig. 2- Map of water resources of the study area (Zarghami et al., 2020)

شکل ۲- نقشه منابع آبی منطقه مورد مطالعه (Zarghami et al., 2020)

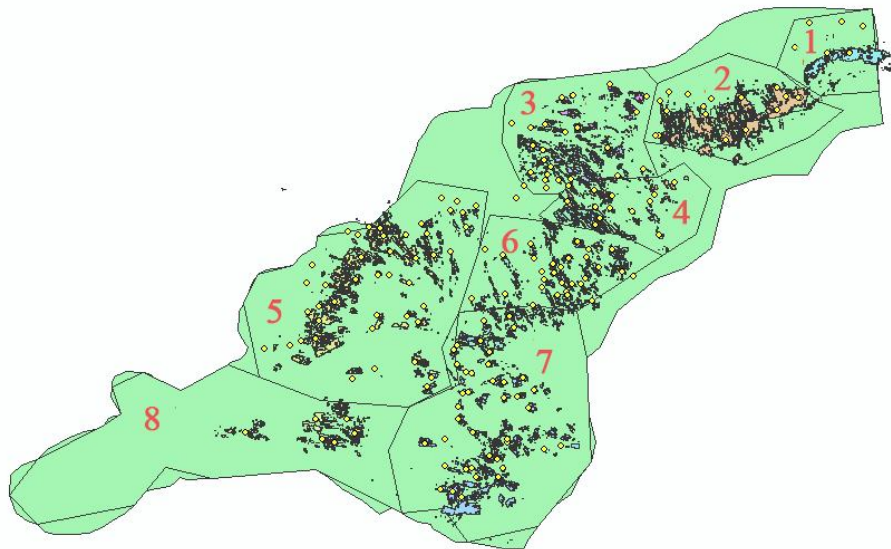


Fig. 3- Damghan plain aquifer partitioned areas
 شکل ۳- مناطق تقسیم‌بندی شده آبخوان دشت دامغان

Table 1- The amount of water withdrawal and the water needs of each beneficiary
 جدول ۱- میزان برداشت آب و نیاز آبی هر ذینفع

No.	Name of the partitioned area	Water requirement (mm ³)	Water Withdrawal (mm ³)
1	Mowmenabad	5.6	3.7
2	Mehmandust & Husseinabad	23	9.8
3	East of Damghan, Vamarzan & Jazn	7.3	10.0
4	Baram & Varzan	5.0	6.5
5	Hajjaji & West Damghan	19.2	12.1
6	Damghan & Zargarabad	12.8	8.6
7	Forat	16.7	12.3
8	Amravan & Qusheh	2.5	5.5
9	Domestic use	10.3	10.3
10	Industrial use	8.8	8.8
	The whole aquifer	110.9	87.6

۳-۱-۱- روش ورشکستگی نسبی (P)

این روش مشهورترین و ساده‌ترین روش ورشکستگی است، که ارسطو آن را روشی برای تخصیص عادلانه می‌دانست (Dagan and Volij, 1993). این روش در تلاش است تا نسبتی مساوی از تقاضای هر یک از ذینفعان را تأمین کند. به همین منظور توسط رابطه (۲) به محاسبه ضریبی می‌پردازد که بتواند با توجه به مقدار نیاز اعلام شده از سوی هر یک از ذینفعان، درصد برابری را تأمین نماید. بنابراین توسط رابطه (۱) سهم هر ذینفع بدست می‌آید (Bosmans and Lauwers, 2011).

روش‌های مختلفی در تئوری ورشکستگی وجود دارد، در این تحقیق از ۶ روش ورشکستگی نسبی (P)، ورشکستگی مقید به سود یکسان (CEA)، ورشکستگی مقید به ضرر یکسان (CEL)، ورشکستگی تالمود (TAL)، ورشکستگی پینایل (PIN) و روش ورشکستگی نسبی تعدیل شده (AP) استفاده شده است. روابط ریاضی روش‌های استفاده شده در ادامه توضیح داده شده است. در این مطالعه با توجه به جدول (۱) سرمایه (E)، $\frac{87}{110.9}$ میزان آب موجود، و C_i میزان نیاز هر ذینفع با توجه به میزان نیاز آبی آن‌ها است.

ابتدا به هر فرد نیمی از تقاضایش را اختصاص می‌دهد، سپس از روش CEL با نصف تقاضاها استفاده می‌کند. رابطه (۶) نحوه تخصیص این روش را نشان می‌دهد (Bosmans and Lauwers, 2011):

$$x_i^T = \begin{cases} CEA\left(\frac{1}{2}c_i, E\right) & \text{if } E \leq \frac{1}{2}C \\ \frac{1}{2}c_i + CEL\left(\frac{1}{2}c_i, E - \frac{C}{2}\right) & \text{if } E \geq \frac{1}{2}C \end{cases} \quad (6)$$

۳-۱-۵- روش ورشکستگی پینال (PIN)

روش PIN مانند روش قبل به دو شرط تقسیم می‌شود، به طوری که اگر نصف مجموع تقاضاها بزرگتر از سرمایه بود از روش CEA با سرمایه و نصف تقاضا استفاده می‌شود. اگر نصف مجموع تقاضاها کوچکتر از سرمایه بود، جمع نصف ادعاها و روش CEA انجام می‌شود. رابطه (۷) نحوه تخصیص این روش را نشان می‌دهد (Bosmans and Lauwers, 2011):

$$x_i^{PIN} = \begin{cases} CEA\left(\frac{1}{2}c_i, E\right) & \text{if } E \leq \frac{1}{2}C \\ \frac{1}{2}c_i + CEA\left(\frac{1}{2}c_i, E - \frac{C}{2}\right) & \text{if } E \geq \frac{1}{2}C \end{cases} \quad (7)$$

۳-۱-۶- روش ورشکستگی نسبی تعدیل شده (AP)

مبنای این روش مقدار واگذار شده از دیگر ذینفعان به ذینفع (i) می‌باشد. نگاه اولیه این روش تأمین نیاز دیگر ذینفعان است. برای تعیین مقدار اولیه تخصیص، ابتدا مجموع تقاضاها به جز ذینفع (i) با سرمایه مورد مقایسه قرار داده و در صورت وجود آب مازاد آن را به عنوان آب واگذار شده ذینفع (i) قرار می‌دهد. در صورت عدم وجود آب مازاد، تخصیص اولیه ذینفع (i) صفر می‌شود. سپس، روش تلاش می‌کند با اعمال ضریبی در اختلاف بین آب تأمین شده در قسمت قبل و نیاز هر یک از ذینفعان مقدار جدیدی را به آب تخصیص یافته اولیه اضافه کند. این ضریب با توجه به کل سرمایه موجود، مجموع آب تخصیص داده شده اولیه و نیز مجموع اختلافات ایجاد شده بین نیاز و تخصیص اولیه برای کلیه ذینفعان محاسبه می‌شود (Zarezadeh, 2011; Bosmans and Lauwers, 2011). رابطه (۸) مسأله گفته شده را توضیح می‌دهد:

$$A(c, E) = m(c, E) + P\left(\left\{\min\{c_i - m_i(c, E), E_A\}\right\}_{i \in N}, E_A\right) \quad (8)$$

$$x_i^P = \lambda c_i \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{E}{C} \quad (2)$$

که در آن E سرمایه کل مجموعه و C میزان کل ادعاها و λ ضریبی ثابت، و x_i^P مقدار تخصیص یافته به هر ذینفع و c_i میزان نیاز هر ذینفع است.

۳-۱-۲- روش ورشکستگی مقید به سود یکسان (CEA)

این روش حداقل ادعایی که از طرف ذینفعان اعلام شده است را به عنوان پایه λ برای تخصیص‌ها در نظر می‌گیرد و سپس این مقدار را با توجه به سرمایه به صورت گام‌به‌گام به هر ذینفع تخصیص می‌دهد. بنابراین در مرحله اول کوچک‌ترین ذینفع ادعای کامل خود را دریافت کرده و تقاضای هر ذینفع به اندازه λ و سرمایه به اندازه $n\lambda$ کاسته می‌شود، و این فرآیند تا جایی ادامه می‌یابد که میزان تخصیص کوچک‌تر یا مساوی با ادعای هر یک از آنان باشد. در صورتی که سرمایه جوابگوی مقدار حداقل تعیین شده برای کلیه مدعیان نباشد، موجودی سیستم به صورت یکسان بین آن‌ها تقسیم می‌گردد. روابط (۳) و (۴) نشان‌دهنده این مسأله می‌باشند (Zarezadeh, 2011; Bosmans and Lauwers, 2011).

$$\lambda = \min(c_i) \quad (3)$$

$$x_i^{CEA} = \min(c_i, \lambda) \quad , \quad \text{if } C \geq E \quad (4)$$

$$E \quad , \quad \text{where } \sum_{i=1}^n (c_i, \lambda) = E$$

۳-۱-۳- روش ورشکستگی مقید به ضرر یکسان (CEL)

در این روش برخلاف روش قبل (CEA)، به حمایت از نیازهای بیشتر می‌پردازد. به این صورت که به نیازهای بیشتر مقدار بیشتری را اختصاص می‌دهد. با توجه به این که تقاضای هر یک از ذینفعان چه مقدار باشد، مقدار حداقلی (λ) را از آن‌ها کسر می‌کند تا به ازای آن قید مسئله ارضا شود. در حقیقت میزان کمبود به صورت مساوی بین آن‌ها تقسیم می‌شود و در این صورت متقاضی با تقاضای بیشتر، بیشترین مقدار را دریافت خواهد کرد. رابطه (۵) این مسئله را نشان می‌دهد (Zarezadeh, 2011; Bosmans and Lauwers, 2011).

$$x_i^{CEL} = \max(0, c_i - \lambda) \quad , \quad \text{if } C \geq E \quad (5)$$

$$\text{where } \sum_{i=1}^n (0, c_i - \lambda) = E$$

۳-۱-۴- روش ورشکستگی تالمود (TAL)

این روش بر مبنای دو روش قبل است. به این صورت که ابتدا نصف مجموع تقاضاها و سرمایه را مقایسه می‌کند. اگر سرمایه کمتر باشد از روش CEA با نصف تقاضاها استفاده می‌کند، و اگر سرمایه بیشتر باشد

۳-۲- معیارهای ارزیابی روش‌های ورشکستگی

با اعمال روش‌های ورشکستگی مختلف، هر یک از ذینفعان تخصیص‌های مختلفی دریافت می‌کنند که این تخصیص‌ها از هم متفاوت هستند. شرط لازم برای تحقق یک روش ورشکستگی، پذیرش آن توسط ذینفعان است. اگرچه یک روش ممکن است نیازهای اصلی بازی را برآورده کند، اما باز هم ممکن است توسط برخی از ذینفعان پذیرفته نشود؛ زیرا ممکن است آن را در مقایسه با تخصیص دیگر نسبتاً ناعادلانه بدانند. همچنین، تخصیص‌هایی که از نظر برخی بازیکنان غیرمنصفانه ارزیابی می‌شوند، از ثبات کمتری برخوردار هستند (Dinar and Howiit, 1997). بنابراین بررسی پایداری هر یک از روش‌ها در تصمیم‌گیری نهایی برنامه‌ریزان مؤثر خواهد بود. در این مطالعه از معیارهای اکثریت آرا و پایداری در رفتار برای ارزیابی میزان پذیرش و مقبولیت از دید ذینفعان و همچنین تراز آب زیرزمینی از جهت پذیرش از دید آب منطقه‌ای و ادغام روش‌های قبل استفاده شده است.

۳-۲-۱- شاخص اکثریت آراء^{۱۰}

یک معیار ساده برای بررسی پایداری، مشخص کردن تعداد ذینفعانی است که آن را نسبت به سایر روش‌ها ترجیح می‌دهند (Dinar and Howiit, 1997). یک ذینفع، روشی را ترجیح می‌دهد که در آن بیشترین سود به او اختصاص داده شود. در این ارزیابی، هر ذینفع به هر روشی که بیشترین سهم را به آن اختصاص بدهد، امتیاز ۱ و به بقیه روش‌ها امتیاز صفر می‌دهد و در آخر امتیاز روش‌های مختلف جمع می‌شود. سپس هر روشی که بیشترین امتیاز را بین روش‌ها داشته باشد به عنوان روش مورد قبول شناخته می‌شود.

۳-۲-۲- شاخص پایداری در رفتار^{۱۱}

Madani et al. (2014) شاخصی را به عنوان شاخص پایداری در رفتار در مسائل ورشکستگی، ارائه کردند. این شاخص از اصلاح شاخصی که Loehman et al. (1979) و Shapley and Shubik (1954) برای سنجش قدرت در بازی‌های همکارانه که توسط پیشنهاد گردید، به دست می‌آید.

$$\alpha_i = \frac{C_i - x_i}{\sum_{j \in N} (C_j - x_j)}, \quad i \in N, \quad \sum_{i \in N} \alpha_i = 1 \quad (9)$$

که در آن C_i تقاضا و x_i مقدار آب اختصاص داده شده به ذینفع i و α_i نشان‌دهنده قدرت هر ذینفع در مسأله ورشکستگی است.

$$S_\alpha = \frac{\sigma_\alpha}{\bar{\alpha}} \quad (10)$$

که در آن σ_α انحراف معیار و $\bar{\alpha}$ میانگین مقادیر قدرت هر روش، و S_α نشان‌دهنده شاخص پایداری می‌باشد. هرچه میزان S_α کمتر باشد پایداری همکاری بیشتر و احتمال بر هم خوردن بازی توسط بازیکنان کمتر است.

۳-۲-۳- شاخص تراز آب زیرزمینی با در نظر گرفتن عدم قطعیت

ابتدا جهت مدل‌سازی آبخوان، از نرم‌افزار GMS استفاده شده است. در تهیه مدل مفهومی آبخوان دامغان، مقادیر تغذیه به آبخوان، تبخیر، چاه‌های بهره‌برداری، پارامتر هدایت هیدرولیکی و همچنین شرایط مرزی و مرز آبخوان بصورت لایه‌های اطلاعاتی وارد و به فرمت قابل قبول برای MODFLOW تبدیل شده است. هندسه آبخوان با توجه به اطلاعات مربوط به ژئوفیزیک، لاگ چاه‌ها، و مدل ارتفاعی رقومی منطقه بدست آمده است، به طوری که این اطلاعات با استفاده از توابع موجود در نرم‌افزار به کلیه مناطق دشت درون‌یابی شده و به سلول‌های شبکه نسبت داده می‌شود. عوامل خروجی آبخوان شامل تخلیه و برداشت از چاه‌ها، چشمه‌ها، قنات‌ها، جریان زیرزمینی خروجی، زهکشی آبخوان و تبخیر از آبخوان است و میزان آن با استفاده از گزارش بیلان آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی در سال ۱۳۸۹-۱۳۹۰ تعیین شده و در مدل GMS بکار برده شده است. همچنین، برای محاسبه میزان برداشت از چاه‌ها در طول دوره تنش ۳۶ ماهه از داده‌های تخلیه سالانه استفاده شده است. در شکل ۴ موقعیت چاه‌های بهره‌برداری موجود در منطقه و موقعیت ۳۵ چاه مشاهده‌ای، به عنوان چاه‌های مشاهداتی را نشان می‌دهد (Zarghami et al., 2020).

با توجه به گزارش طرح ارائه سیستم تصمیم‌یار با رویکرد مدیریت به‌هم‌پیوسته منابع آب جهت پیاده‌سازی طرح احیاء و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی دامغان (Zarghami et al., 2020)، تراز آب زیرزمینی بدست آمده در چاه‌های مشاهداتی توسط نرم‌افزار GMS در هر روش ورشکستگی مقایسه شده و بیشترین عدد بدست آمده به عنوان بهترین روش انتخاب می‌شود. این روش نیز با در نظر گرفتن عدم قطعیت بار دیگر، انجام می‌شود.

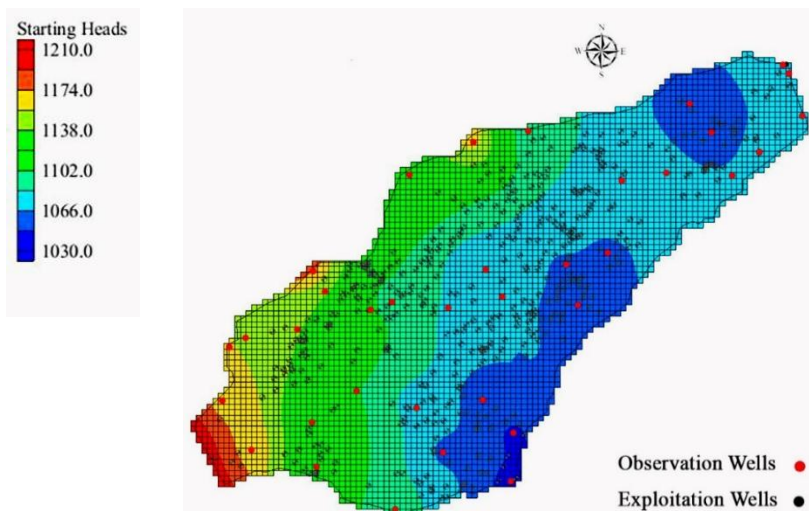


Fig. 4- The location of the exploitation wells in the study area (Zarghami et al., 2020)
 شکل ۴- موقعیت چاه‌های بهره‌برداری موجود در منطقه مطالعاتی (Zarghami et al., 2020)

۳-۲-۱- عدم قطعیت

هر طرحی بسته به نوع پارامترها و مدل‌های موجود در آن دارای عدم قطعیت است؛ بنابراین تصمیم‌گیران به ندرت می‌توانند ایده‌های کاملاً قطعی در مورد تصمیمات اقتصادی، اجتماعی و سیاسی داشته باشند و همواره پیشامدهای ناشناخته منجر به تصمیم‌های همراه با عدم قطعیت خواهد شد. روش مونت کارلو، رایج‌ترین رویکرد در تجزیه و تحلیل عدم قطعیت است که در پژوهش‌های مربوط به آب‌های زیرزمینی نیز سهم قابل توجهی را به خود اختصاص داده است. اساس کار روش شبیه‌سازی مونت کارلو، نمایش ترکیبات تصادفی حالات ممکن از عدم قطعیت‌هایی است، که در یک پدیده رخ می‌دهند. بدین‌صورت که هر متغیر با استفاده از تابع توزیع احتمال آن، شبیه‌سازی و سپس متناظر با آن‌ها خروجی هر مدل یا معادله محاسبه می‌شود. در روش مونت کارلو، تعدد اجرای مدل منجر به تعداد زیادی نتیجه می‌شود که تجمیع نتایج در قالب توزیع احتمال خروجی‌ها ارائه می‌شود. میانگین به عنوان شاخص مرکزیت در فرآیند تصادفی و انحراف معیار به عنوان شاخص تغییرپذیری، در تحلیل آماری عدم قطعیت نتایج، بیشترین اهمیت را دارند (Ligmann-Zielinska, 2014). در این مطالعه از تابع توزیع نرمال با فرمول (۱۱) استفاده شده است:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (11)$$

۳-۲-۲- شاخص جدید (β)

نتایج حاصل‌شده در ارزیابی‌های قبل، یک جانبه گرایانه و ناهمگون است؛ زیرا شاخص اکثریت آراء فقط پذیرش اجتماعی، شاخص پایداری در رفتار ثبات هر روش، و شاخص تراز آب زیرزمینی بهترین روش را از دید آب منطقه‌ای در نظر می‌گیرند. برای رسیدن به نتیجه واحد، مجموع بی‌بعد شده روش‌های فوق با ضرایب وزنی (ω) مقبول‌ترین روش را از دید هر سه شاخص ارائه می‌دهد.

$$\beta = \omega_1 * \text{شاخص اکثریت آراء} + \omega_2 * \text{شاخص پایداری در رفتار} + \omega_3 * \text{شاخص تراز آب زیرزمینی} \quad (12)$$

به همین جهت ابتدا داده‌ها توسط رابطه (۱۳) نرمال می‌شوند؛ زیرا باید ویژگی‌ها در رابطه فاصله بدون مقیاس باشند تا بزرگی واحد اندازه‌گیری هر بُعد باعث اریبی مقدار تابع فاصله به سمت یک ویژگی نشود. مقدار حداکثر داده‌های نرمال شده حداکثر یک و حداقل صفر است. x_j مقدار x در بعد j ام، x_{\min} حداقل در بعد j ام، x_{\max} حداکثر در بعد j ام و Z عدد نرمال شده است.

$$Z = \frac{x_j - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (13)$$

۴- نتایج و بحث

۴-۱- نتایج روش‌های ورشکستگی

ابتدا هر کدام از روش‌های ورشکستگی ذکر شده با توجه به جدول ۱ که میزان برداشت آب و نیاز آبی هر منطقه است، اعمال شده است.

مقادیر تخصیص یافته شده با توجه به روش‌های ورشکستگی اشاره شده در جدول ۲ ارائه شده است.

آن است؛ بنابراین با شمارش تعداد آراء موافق می‌توان در مورد مقبولیت آن قضاوت کرد. نتایج حاصل در جدول ۳ نشان داده شده است. مطابق جدول ۳ شاخص CEA در میان ۷ ذینفع مقبولیت بیشتری داشته و همچنین با کسب اکثریت آراء ۷ از ۱۰ رأی (۷۰ درصد آراء)، از دیدگاه شاخص اکثریت آراء به عنوان مقبول‌ترین روش انتخاب می‌شود.

۲-۴- نتایج معیارهای ارزیابی روش‌های ورشکستگی

۱-۲-۴- ارزیابی تخصیص از دید شاخص اکثریت آراء

طبق توضیحات گفته شده، ساده‌ترین راه برای بررسی میزان مقبولیت یک روش در بین ذینفعان، مشخص کردن تعداد آراء موافق نسبت به

Table 2- Allocations by six methods applied to Damghan plain aquifer
جدول ۲- نتایج تخصیص ۶ روش بکار گرفته شده در آبخوان دشت دامغان

	Percentage of Supplied Need					
	P	CEA	CEL	TAL	PIN	AP
Beneficiary 1	78.5	100	57.1	55.3	100	78.5
Beneficiary 2	78.5	52.3	89.5	89.1	65.6	78.5
Beneficiary 3	78.5	100	67.1	65.7	100	78.5
Beneficiary 4	78.5	100	5.2	50.0	100	78.5
Beneficiary 5	78.5	62.6	87.5	87.0	68.7	78.5
Beneficiary 6	78.5	94.0	81.2	80.5	78.1	78.5
Beneficiary 7	78.5	72.0	85.6	85.0	71.2	78.5
Beneficiary 8	78.5	100	5.6	50.0	100	76.0
Beneficiary 9	78.5	100	76.7	76.7	75.7	84.4
Beneficiary 10	78.5	100	72.7	71.6	100	68.1

Table 3- Results of plurality index in Damghan plain aquifer
جدول ۳- نتایج شاخص اکثریت آراء در آبخوان دشت دامغان

	Plurality Index					
	P	CEA	CEL	TAL	PIN	AP
Beneficiary 1	0	1	0	0	1	0
Beneficiary 2	0	0	0	0	0	0
Beneficiary 3	0	1	0	0	1	0
Beneficiary 4	0	1	0	0	1	0
Beneficiary 5	0	0	0	0	0	0
Beneficiary 6	0	1	0	0	0	0
Beneficiary 7	0	0	0	0	0	0
Beneficiary 8	0	1	0	0	1	0
Beneficiary 9	0	1	0	0	0	0
Beneficiary 10	0	1	0	0	1	0
Total	0	7	0	0	5	0

تخصیص مربوطه در یک دوره آماری اعمال و نتایج تغییرات تراز آب زیرزمینی بررسی شده است. همچنین، برای بدست آوردن تراز آب زیرزمینی با در نظر گرفتن عدم قطعیت نیاز به داده‌های تصادفی از محدوده برداشت آب چاه‌های بهره‌بردار، جهت تولید نمونه‌های تصادفی در بازه $\pm 10\%$ می‌باشد. برای بدست آوردن این داده‌ها از نرم‌افزار MATLAB استفاده شده است. با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل ۵، محور x تراز آب زیرزمینی در هر روش ورشکستگی، و محور y اعداد بدست آمده تابع توزیع نرمال $f(x)$ است. تابع توزیع نرمال تأثیر عدم قطعیت را روی روش‌های اعمال شده نشان می‌دهد. با توجه به نتایج شکل ۶ روش CEL با داشتن بیشترین میانگین تراز آب زیرزمینی چاه‌های مشاهداتی در آبخوان دشت دامغان بهترین روش در تخصیص منابع آب منطقه مورد مطالعه شاخص تراز آب زیرزمینی انتخاب می‌شود.

۲-۲-۴- ارزیابی تخصیص از دید شاخص پایداری در رفتار

با توجه به مطالب ذکر شده، این شاخص احتمال بر هم خوردن بازی توسط بازیکنان، با بررسی میزان نارضایتی هر یک از ذینفعان از مقادیر تخصیص یافته را مورد بررسی قرار می‌دهد. با توجه به نتایج جدول ۴، از منظر شاخص پایداری در رفتار، روش CEL با داشتن حداقل‌ترین مقدار شاخص پایداری، به عنوان پایدارترین روش در تخصیص منابع آب منطقه مورد مطالعه انتخاب می‌شود.

۳-۲-۴- ارزیابی تخصیص از دید تراز آب زیرزمینی با در نظر گرفتن عدم قطعیت

با اعمال نتایج بدست آمده از روش‌های ورشکستگی به ذینفعان و مدل‌سازی آبخوان در نرم‌افزار GMS میانگین تراز آب زیرزمینی چاه‌های مشاهداتی برای هر روش بدست آمد. فرض شده است

Table 4- Results of stability index in Damghan plain aquifer
جدول ۴- نتایج شاخص پایداری در رفتار در آبخوان دشت دامغان

	Stability Index					
	P	CEA	CEL	TAL	PIN	AP
S_{α}	0.57	1.57	0	0.15	1.15	0.57
Ranking	3	5	1	2	4	3

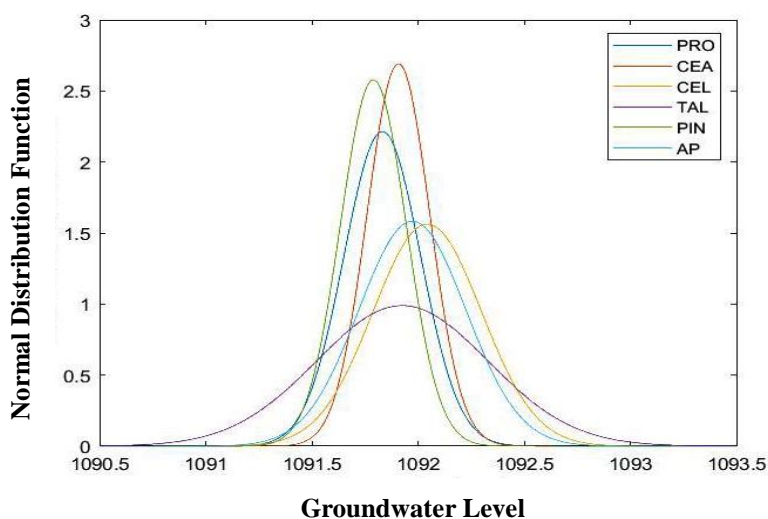


Fig. 5- Normal distribution function $f(x)$
شکل ۵- تابع توزیع نرمال $f(x)$

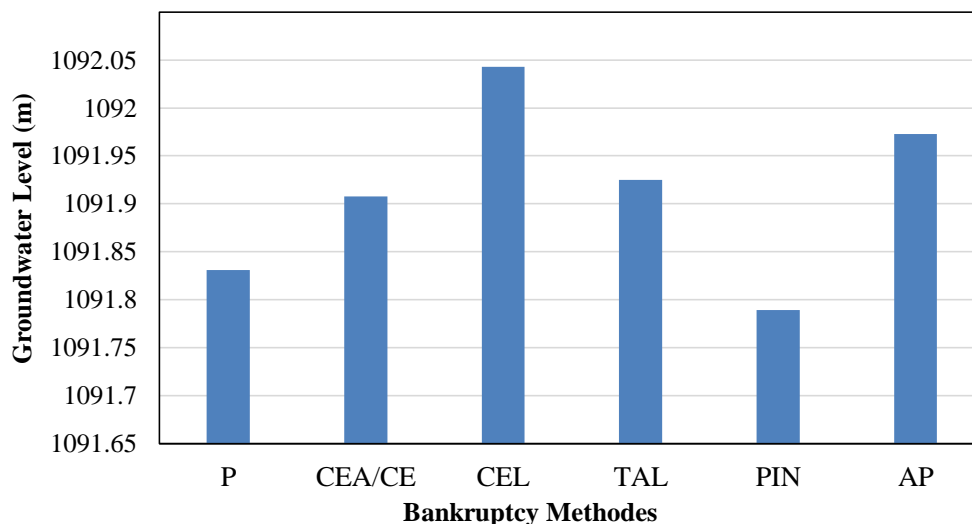


Fig. 6- The average level of underground water taking into account the uncertainty of observation wells
 شکل ۶- میانگین تراز آب زیرزمینی با در نظر گرفتن عدم قطعیت چاه‌های مشاهداتی

قبل) را نشان می‌دهد. جهت بررسی بیشتر به ω ضرایب متفاوتی داده شده است که در جدول ۶ مشاهده می‌شود. مطابق این جدول، روش CEL حتی با ضرایب متفاوت بیشترین مقدار بدست آمده طبق رابطه ۱۳ است.

۴-۲-۴- ارزیابی تخصیص توسط شاخص β

برای انتخاب بهترین روش از دید پذیرش اجتماعی، ثبات روش‌ها و تراز آب زیرزمینی، لازم است روش جدیدی استفاده شود. طبق روابط ۱۲ و ۱۳، جدول ۵ نرمال شده نتایج بدست آمده روش‌های ارزیابی و جدول ۶ نتایج نهایی ارزیابی تخصیص شاخص β (ادغام شاخص‌های

Table 5- Normalized obtained results of evaluation methods

جدول ۵- نرمال شده نتایج بدست آمده روش‌های ارزیابی

	Normalized Numbers in The Previous 3 Indices					
	P	CEA	CEL	TAL	PIN	AP
Plurality Index	0	1	0	0	0	0
Stability Index	0.63	0	1	0.90	0.26	0.63
Underground Water Level Index	0.16	0.46	1	0.53	0	0.724

Table 6- The final results of the assessment of β index allocation (integration of previous indices)

جدول ۶- نتایج نهایی ارزیابی تخصیص شاخص β (ادغام شاخص‌های قبل)

ω			β					
ω_1	ω_2	ω_3	P	CEA	CEL	TAL	PIN	AP
0/33	0.33	0.33	0.26	0.48	0.66	0.47	0.08	0.45
0/5	0.25	0.25	0.20	0.41	0.50	0.36	0.06	0.34
0/25	0.5	0.25	0.35	0.36	0.75	0.58	0.13	0.50
0/25	0.25	0.5	0.24	0.48	0.75	0.50	0.06	0.52

۴-۳- نتایج بررسی و ارزیابی روش‌های ورشکستگی

نتایج بدست آمده توسط شاخص‌های اکثریت آراء، پایداری در رفتار، تراز آب زیرزمینی با در نظر گرفتن عدم قطعیت و ادغام شاخص‌های قبل ارزیابی شده است. طبق نتایج بدست آمده از روش‌های ورشکستگی، بهترین روش با توجه به تراز آب زیرزمینی، مسائل اجتماعی و پایداری روش متفاوت است. اگر مسائل مربوط به تنش‌های اجتماعی در اولویت باشند، روش CEA و سپس PIN روش بهتری به علت مقبولیت بالا است؛ زیرا این روش‌ها به نفع ذینفعان با تقاضای کمتر است. اگر پایداری تخصیص مدنظر باشد، روش CEL و سپس روش TAL پایداری بیشتری نسبت به سایر روش‌ها دارند. این روش‌ها به نفع متقاضیان با تقاضای بیشتر است. اگر مسائل زیست‌محیطی مانند تراز آب زیرزمینی مدنظر باشد، روش CEL و سپس AP مناسب‌تر است. طبق این نتایج یک روش واحد برای آبخوان نمی‌توان در نظر گرفت. به همین علت از شاخص دیگری استفاده شده که تا به حال در مقالات استفاده نشده است. این شاخص از ادغام شاخص‌های قبل به دست آمده است. به این صورت که با نرمال کردن نتایج شاخص‌های قبل و دادن ضرایب متفاوت به هر کدام نتایج را بررسی کرده است. چهار مرحله ضریب متفاوت در نظر گرفته شده، که در هر مرحله یکی از روش‌های ارزیابی ضریب بیشتری داشتند و یک مرحله همه روش‌های ارزیابی، ضریب یکسان داشتند. در نهایت طبق نتایج بدست آمده در هر چهار مرحله روش CEL روش برتری بوده و می‌تواند مقبول از دید هر شاخص باشد. همچنین، وجود عدم قطعیت در شاخص ارزیابی تراز آب زیرزمینی باعث بروز عدم اطمینان می‌باشد که بررسی عدم قطعیت ضروری است.

در نهایت نمی‌توان با قطعیت اذعان داشت که روش‌های ورشکستگی به صورت قطعی مشکلات تخصیص آب را در حوضه‌های دارای اختلاف حل خواهند کرد، ولی می‌توان از آنها جهت سهولت در تخصیص و کاهش تنش‌های احتمالی در حوضه‌های به اصطلاح ورشکسته استفاده کرد. هر چقدر ویژگی‌های بیشتر از ذینفعان مانند ویژگی‌های اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی، سیاسی و غیره در امر تخصیص در نظر گرفته شود، طبعاً روش استفاده شده و تعدیل پروانه‌های برداشت منصفانه‌تر و منطقی‌تر خواهد بود. در چند سال گذشته، مطالب زیادی در رابطه با منابع مشترک نوشته شده است، خلاصه مطالب را شاید این‌گونه بتوان گفت: «آن‌چه که برای همه است برای هیچ‌کس نیست». چاه‌های مورد استفاده این منطقه عمدتاً به صورت گروهی بهره‌برداری می‌شود. مشارکت ذینفعان در کنترل برداشت از آب‌های زیرزمینی در عین سودمندی از بعد اجتماعی نمی‌تواند منجر به بهره‌برداری پایدار شود. با توجه به این که بحث مشارکت کامل ذینفعان در پایداری منابع آب‌های زیرزمینی مطرح

با توجه به نتایج شاخص‌های ارزیابی، در ارزیابی از دید شاخص اکثریت آراء، روش CEA، به دلیل تخصیص کامل ادعای ذینفعان با تقاضای کمتر، مورد قبول است. با این حال به علت کاهش قابل توجه در میزان تخصیص ذینفعان با تقاضای بیشتر، در عمل طبق روش ارزیابی دوم با نارضایتی همراه است. روش CEA رتبه ششم و آخر را در پایداری در رفتار کسب کرده است که این نشانگر فاصله زیاد سطوح نارضایتی ذینفعان است. همچنین، تراز آب زیرزمینی آن‌ها نیز در مقایسه با روش‌های دیگر قابل توجه نیست. در روش PIN تخصیص به صورت متعادل‌تر به نفع ذینفعان با تقاضای کمتر است. لذا عملکرد آن مانند روش CEA است و همچنین این روش نیز در تراز آب زیرزمینی کمترین تراز را دارد. در خصوص روش ورشکستگی P و همچنین AP، می‌توان به این نکته اشاره کرد که این روش هر چند درصدهای بالایی را به صورت یکسان به ذینفعان اختصاص می‌دهد، ولی به دلیل این که میزان نیاز ذینفعان را در نظر نمی‌گیرد، باعث نارضایتی آن‌ها شده است. همچنین، به دلیل تراز آب زیرزمینی پایین، در عمل کارایی خود را از دست خواهد داد. روش TAL به دلیل تخصیص ندادن کامل به هیچ یک از ذینفعان مورد قبول هیچ یک از طرفین نیست، با این حال سطح نارضایتی آن نسبت به سایر روش‌ها کمتر و همچنین تراز آب زیرزمینی آن نسبت به روش‌های دیگر بهتر است. در روش TAL برخلاف روش PIN، تخصیص به صورت متعادل‌تر به نفع ذینفعان با تقاضای بیشتر است. روش CEL سطح نارضایتی یکسانی در بین ذینفعان دارد، علاوه بر این بالاترین تراز آب زیرزمینی را دارد؛ و طبق شاخص β ، با توجه به ضرایب متفاوت و پررنگ کردن هر شاخص در هر مرحله، بیشترین مقدار را کسب کرده است. از این رو، روش CEL، به عنوان روش مطلوب در منطقه مورد مطالعه انتخاب می‌شود. روش TAL به علت نزدیکی نتایج آن به نتایج CEL و طبق ارزیابی چهارم، بعد روش CEL روش مناسبی برای منطقه مورد مطالعه است.

۵- نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف تعدیل منصفانه پروانه‌های بهره‌برداری آب زیرزمینی آبخوان دامغان مورد بررسی قرار گرفت. کمبود آب و توزیع نامتناسب آن در منطقه مورد نظر باعث درگیری و مشکلات بین ذینفعان شده است. در این راستا از روش‌های ورشکستگی که زیرمجموعه تئوری بازی‌ها می‌باشد، جهت تخصیص منابع استفاده شده، این روش‌ها عبارتند از: ورشکستگی نسبی (P)، ورشکستگی مقید به سود یکسان (CEA)، ورشکستگی مقید به ضرر یکسان (CEL)، تالمود (TAL)، پینیل (PIN) و ورشکستگی نسبی تعدیل شده (AP).

پی‌نوشت‌ها

- 1- Game Theory
- 2- Cooperative Game
- 3- Non-cooperative Game
- 4- Proportional Rule
- 5- Constrained Equal Awards Rule
- 6- Constrained Equal Losses Rule
- 7- Talmud Rule
- 8- Piniles' Rule
- 9- Adjusted Proportional Rule
- 10- Plurality Index
- 11- Stability Index

است، با این حال انتظار این که زارعین دانش فنی لازم در رابطه با برداشت پایدار از منابع آب زیرزمینی داشته باشند، بعید است. دخالت ذینفعان از آب‌های زیرزمینی بدون حضور دولت منجر به نزاع و اختلاف می‌شود، که حل اختلاف آن‌ها مشارکت دولت‌مردان را می‌طلبد.

در مناطق کویری به دلیل پایین بودن کیفیت آب، نمی‌توان آبی را که برای کشاورزی استفاده می‌شود برای شرب و صنعت هم استفاده نمود و چون منابع آب در دسترس برای شرب کشاورزی و صنعت مشخص نیست، وزن یکسان در ارزیابی برای همه ذینفعان در نظر گرفته شده است. لذا این نیز جزء محدودیت‌های این تحقیق است و در مطالعات آتی بهتر است کیفیت آب در نظر گرفته شود.

۶- مراجع

- Ansink E and Marchiori C (2011) Reallocating water: An application of sequential sharing rules to Cyprus. SSRN Electronic Journal. FEEM Working Paper No. 126.2009
- Banihabib M E and Najafi Morghmaleki S (2018) Assessment of game and bankruptcy theories to supply environmental water of Hawizeh Wetland. *Iran-Water Resources Research* 14(2):12–22 (In Persian)
- Bosmans K and Lauwers L (2011) Lorenz comparisons of nine rules for the adjudication of conflicting claims. *International Journal of Game Theory* 40(4):791–807
- Dinar A and Howitt R E (1997) Mechanisms for allocation of environmental control cost: Empirical tests of acceptability and stability. In *Journal of Environmental Management* 49(2):183–203
- Jabbari R, Zarghami M, Anbari MJ and nadiri A (2022) Development of agent based model with the aim of discussion groundwater resources management policies; case study of Damghan aquifer. *Iran-Water Resources Research* 17(4):131–143 (In Persian)
- Jamalomidi M and Moridi A (2020) Bankruptcy method in reducing groundwater resources conflicts and aquifer balancing (case study: Haji Abad aquifer). *Iran-Water Resources Research* 16(4):1–14 (In Persian)
- Ligmann-Zielinska A, Kramer DB, Spence Cheruvellil K and Soranno PA (2014) Using uncertainty and sensitivity analyses in socioecological agent-based models to improve their analytical performance and policy relevance. *PloS one* 9(10):e109779
- Loáiciga HA (2004) Analytic game-theoretic approach to ground-water extraction. *Journal of Hydrology* 297(1–4):22–33
- Madani K (2010) Game theory and water resources. *Journal of Hydrology* 381(3–4):225–238
- Madani K and Zarezadeh M (2012) Bankruptcy methods for resolving water resources conflicts. *World Environmental and Water Resources Congress 2012: Crossing Boundaries*, 2247–2252
- Madani K, Zarezadeh M, Morid S (2014) A new framework for resolving conflicts over transboundary rivers using bankruptcy methods. *Hydrology and Earth System Sciences* 18(8):3055–3068
- Mianabadi H, Mostert E, Zarghami M, and van de Giesen N (2014) A new bankruptcy method for conflict resolution in water resources allocation. *Journal of Environmental Management* 144:152–159
- Neumann J V, Morgenestern O (2007) *Theory of Games and Economic Behavior: 60th Anniversary Commemorative Edition*. United Kingdom, Princeton University Press
- Shapley L S and Shubik M (1954) A method for evaluating the distribution of power in a committee system. *American Political Science Review* 48:787–792
- Sheikhmohammady M and K Madani (2008) Sharing a multi-national resource through bankruptcy procedure. *World Environmental and Water Resources Congress, Ahupua'a*
- Tian J, Yu Y, Li T, Zhou Y, Li J, Wang X, and Han Y (2022) A cooperative game model with bankruptcy theory for water allocation: A case study in China Tarim River Basin. *Environmental Science and Pollution Research* 29(2):2353–2364
- Zarezadeh M (2011) Allocation of water resources of Qezl Ozen-Safid Rood watershed under the influence of climate change by applying the bankruptcy approach in resolving disputes [dissertation]. Tehran Iran, Tarbiat Modares University (In Persian)
- Zarghami M, Nadiri AA, Anbari MJ, Farzin S, Mohammadpor N, Taherian M, Garekhani M, Jabbari R, Mohaghegh AR (2020) Providing a decision-making system with an integrated water resources management approach to implement a plan to rehabilitate and balance groundwater resources in the study area of Damghan. *Semnan Regional Water Company* (In Persian)